

Diplomarbeit

Herr
Christian Böhnke

Durchführung und Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen an Schienenfahrzeug - Komponenten

Mittweida, 2012

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

DIPLOMARBEIT

Durchführung und Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen an Schienenfahrzeug - Komponenten

Autor:
Herr Christian Böhnke

Studiengang:
Informationstechnik

Seminargruppe:
KI08W1

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Sporbert

Zweitprüfer:
Dipl. Ing. Matthias Leunig

Einreichung:
Mittweida, 01.05.2012

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2012

Faculty Elektro- und Informationstechnik

Diplom THESIS

Implementation and analysis of life expectancy study at rail vehicle components

author:
Mr. Christian Böhnke

course of studies:
Informationstechnik

seminar group:
KI08W1

first examiner:
Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Sporbert

second examiner:
Dipl. Ing. Matthias Leunig

submission:
Mittweida, 01.05.2012

defence/ evaluation:
Mittweida, 2012

Bibliografische Beschreibung:

Böhnke, Christian:
Durchführung und Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen an Schienenfahrzeug - Komponenten. - 2012. - Seitenzahl Verzeichnisse 9, Seitenzahl des Inhalts 78, Seitenzahl der Anhänge 52
Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Elektro- und Informationstechnik, Diplomarbeit, 2012

Referat:

Die vorliegende Arbeit stellt die Lebensdaueruntersuchung an Schienenfahrzeug - Komponenten dar, wobei der Schwerpunkt in der Entwicklung einer automatischen Auswertesoftware nach dem Rainflowklassierverfahren liegt. Die Software soll als Standardauswerteroutine bei der Auswertung von Lebensdaueruntersuchungen im Schienenfahrzeug - Sektor der ALSTOM Transport Deutschland GmbH in Salzgitter zum Einsatz kommen.
Abschließend erfolgt ein Ausblick, auf die Verwendung im bestehendem Auswerteprozess und denkbare Erweiterungsmöglichkeiten.

Vorwort

Ich möchte mich bei meinen Betreuern Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Sporbert und Herrn Dipl. Ing. Matthias Leunig für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Diplomthemas bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei allen Kollegen der Abteilungen RP9 – Prüfstelle bedanken, die mich bei der Bearbeitung des Diplomthemas freundlich unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Familie, die mich während der gesamten Studienzeit ausdauernd begleitet hat.

Salzgitter, im April 2012

Inhalt

Abbildungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

V/km/h	Geschwindigkeit in Kilometer per Stunde
Aq	Querbeschleunigung
DIN EN	Deutsches Institute für Normung Europäischer Norm
DMS	Dehnungsmessstreifen
FEM	Finite Elemente Method
LINT	Leichter Innovativer Nahverkehrs Triebwagen
ICE	Inter City Express
ATD	Alstom Transport Deutschland GmbH
DB AG	Deutsche Bahn Aktien Gesellschaft
DAkks	Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
GPS	Global Positioning System
CAN	Controller Area Network
LIN	Local Interconnect Network
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated
CCP	CAN Calibration Protocol
KWP2000	Key-Word-Protokoll 2000
Hz	Herz
KML	Keyhole Markup Language
XML	Extensible Markup Language
2D	2 Dimensional
3D	3 Dimensional
E – Modul	Elastizitätsmodul

1 Einleitung

Im einleitenden Kapitel werden Motivation und Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besprochen. Gleichzeitig erfolgt ein kurzer Überblick zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit.

1.1 Motivation

Durch das Bestreben, Schienenfahrzeuge aus Effizienz, - sowie Kostengründen gleichzeitig leicht und stabil zu konstruieren, werfen Schwingungen und die damit zusammenhängende Materialermüdung enorme Schwierigkeiten und komplexe Fragestellungen auf. Aus diesem Grund werden für die Zulassung eines neuen Schienenfahrzeugs des ALSTOM Konzerns Versuche zur Festigkeit durchgeführt. Dies dient dem Zweck, die Simulation der Berechnung zu validieren und die vom Kunden geforderte Betriebsfestigkeit nachzuweisen.

Für die Durchführung dieser Versuche müssen festigkeitsrelevante Messdaten im Fahrbetrieb aufgenommen werden. Als Messgrößen werden hauptsächlich Spannungen punktuell durch Dehnungsmessstreifen gemessen, aber auch auswertungstechnisch relevante Signale.

Auch durch den immer größer werdenden Druck neuer Normungen, sowie die Nachweispflicht der Betriebsfestigkeit für die jeweiligen Streckennetze der Betreiber und das Bestreben nach Innovation und Fortschritt gegenüber Mitbewerbern, werden bei mehrwöchigen Messkampanien ein Höchstmaß an Fahrzeug Streckendaten aufgezeichnet. Das einzelne Auswerten dieser aufgezeichneten Streckendaten ist daher mit sehr viel Zeit und damit auch einem Maximum an Kosten verbunden. Des Weiteren ist die Datenauswertung, wie sie bislang erfolgte sehr fehleranfällig. All diese Nachteile machen es zwingend erforderlich, ein geeignetes Verfahren zu entwickeln, welches diesen Vorgang automatisiert.

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit befasst sich im Rahmen der Aufgabenstellung mit der versuchstechnischen Umsetzung einer Lebensdaueruntersuchung und der Entwicklung einer vollautomatischen Auswertesoftware nach dem bekannten Rainflowklassierverfahren für die Lebensdaueruntersuchung an Schienenfahrzeug - Komponenten. Dazu werden technische Grundlagen zum Thema vorgestellt und ein Überblick über das verwendete Equipment sowie die Auswertesoftware gewährt.

Das Hauptziel dieser Arbeit ist jedoch, die Entwicklung, Validierung und Einführung der vollautomatischen Auswertesoftware für Streckendaten nach dem Rainflowklassierverfahren.

Für eine solch komplexe Auswertung bedarf es einer Reihe von Zusatzinformationen für die automatische Auswertung und Beurteilung der Messergebnisse. Zu diesen gehören neben Kräften auch v/km/h[1]-, aq[2]- und Wegsignale[3].

Des Weiteren ist es notwendig, einige Filtermöglichkeiten in die Software zu implementieren um die aufgenommenen Rohdaten einer Vorverarbeitung zu unterziehen und um mögliche nicht gewünschte Streckeneinflüsse zu eliminieren. Zu diesen Filtern gehören Offsetkorrektur, Extremwertfeststellung und Hoch-, Tief-, sowie Bandpassfiltermöglichkeiten.

Außerdem soll es auch möglich sein, eine getrennte Auswertung zwischen einer Geraden und einer Kurvenfahrt vorzunehmen. Diese erweiterte Art der Auswertung soll die Möglichkeit bieten, den Belastungspegel des Bauteils ausschließlich während eine Kurvenfahrt zu beurteilen.

---

[1] Geschwindigkeitssignal

[2] Unausgeglichene Querbeschleunigung „http://de.wikipedia.org/wiki/Neigetechnik“

[3] Knickwinkel zwischen den Wagenkästen

1.3 Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit besteht aus folgenden **9 Kapiteln**.

Nach der allgemeinen Einleitung des **ersten Kapitels**, werden in **Kapitel 2** die Grundlagen der Klassierung und ihre Standards sowie einige Basics vorgestellt. Dieses Elementarwissen soll der gesamten Arbeit als Grundlage dienen.

Anschließend wird in **Kapitel 3** die themenstellende Firma sowie Abteilung vorgestellt und wie die bisherige Umsetzung einer Festigkeitsuntersuchung im ALSTOM Konzern geregelt wird.

Hinterher erfolgt in **Kapitel 4** die Beschreibung des Versuchsobjektes. Dies beinhaltet die Vorstellung des Fahrzeuges und die zu untersuchende Komponente.

Das **Kapitel 5** befasst sich mit der gesamten Versuchsvorbereitung.

Im **Kapitel 6** wird sich dann mit der Versuchsdurchführung befasst.

Anschließend werden in **Kapitel 7** die einzelnen Schritte der Entwicklung der Auswertesoftware vorgestellt.

In **Kapitel 8** erfolgt die Auswertung der Daten.

Abschließend werden in **Kapitel 9** noch einmal die Ergebnisse der einzelnen Kapitel zusammengefasst und zusätzlich ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

2 Elementares Grundwissen

Dieses Kapitel soll dazu dienen, elementare Grundlagen des Klassierens, sowie grundsätzliche Begrifflichkeiten zu erklären. Die Basis dieses Kapitels soll der gesamten Diplomarbeit als Grundlage dienen.

2.1 Betriebsfestigkeit Allgemein

Aus sicherheitstechnischen Gründen müssen Bauteile in jedem Fall zuverlässig ausgelegt werden. Dies soll bedeuten, dass es während einer definierten Zeitdauer unter definierten Betriebsbedingungen nicht ausfallen darf. Um dies zu erreichen, sind bereits in der Produktentstehungsphase geeignete Auslegungskriterien sowie Methoden und Konzepte zur Lebensdauervorhersage für Bauteile unter zyklischer Belastung notwendig. Die anzuwendenden Auslegungskonzepte sind je nach eingesetztem Gebiet des Bauteils sehr unterschiedlich.

Zwei der meist angewandten Verfahren ist das „Safe Life“ und das „Fail Safe“ Kriterium.

Nach dem „Safe – Life “ – Kriterium ist ein Bauteil so auszulegen, dass es während der festgelegten Einsatzzeit unter dem bekanntem Belastungsspektrum nicht versagt. Nach der DIN EN – 50126[4] werden in der Eisenbahntechnik die Gefahren- oder Risikostufen nach Häufigkeiten eines bestimmten Gefahrenfalls eingeteilt. Die Auslegung nach dem „Safe - Life“ – Kriterium macht eine Inspektion des Bauteils überflüssig, jedoch hat sich in der Praxis gezeigt, dass durch unvorhersehbare Ereignisse auf eine regelmäßige Inspektion nicht verzichtet werden kann. Durch diese Art der Auslegung ist der Begriff „safety by inspection “ groß geworden. Ein weiterer Fall der Auslegung ist das „Fail – Safe“ – Kriterium. Bei dieser Art der Auslegung werden für sicherheitsrelevante Bauteile Redundanzen vorgeschlagen. Bei Versagen eines Bauteils übernimmt ein anderes die Übertragung der Belastung. Da dies jedoch ein sehr kostenintensives Vorgehen ist, wird bei der Konzeptionierung davon ausgegangen, dass während des Betriebseinsatzes Fehler auftreten und diese durch eine regelmäßige Inspektion kontrolliert werden.

---

[4] Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); Deutsche Fassung EN 50126:1999, Berichtigung zu DIN EN 50126 (VDE 0115-103):2000-03; Deutsche Fassung CENELEC-Cor. :2010 zu EN 50126:1999

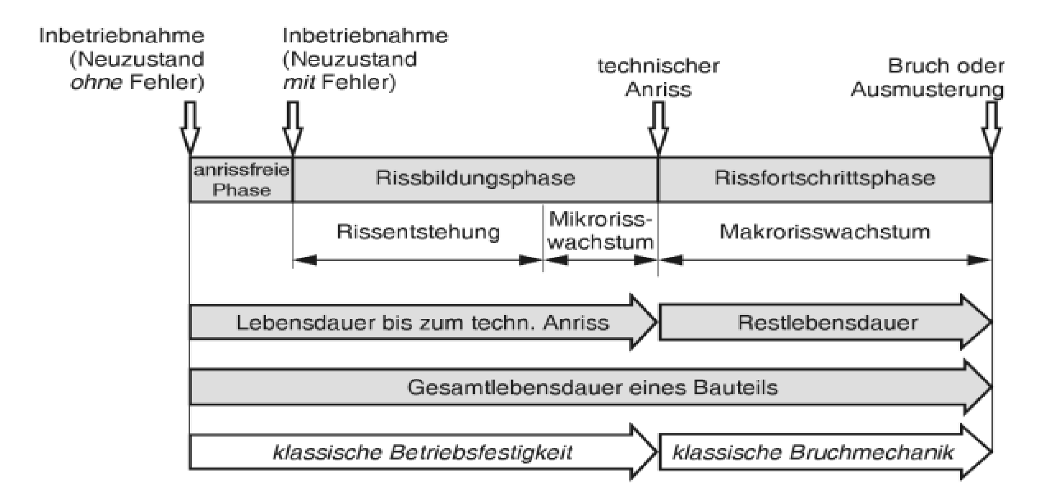


Abbildung 1: Lebensdauer eines Bauteils mit den klassischen Konzepten der entsprechenden Phasen nach [MS08] [S.2]

Diese verschiedenen Auslegungskriterien machen eine getrennte Betrachtung der Lebensdauervorhersage unverzichtbar. Grundsätzlich wird die Betrachtung der Lebensdauer eines Bauteils in Bauteile eingeteilt, bei denen die Lebensdauer mit der Inbetriebnahme beginnt und mit dem Versagen oder vorzeitigen Austausch der Komponente endet, oder in Bauteile eingeteilt bei denen die Lebensdauer mit dem Neuzustand beginnt und mit dem Versagen oder vorzeitigem Austausch endet. [DR03]

2.2 Beanspruchungs / Belastungs – Zeit – Funktion

Für die Auslegung eines Bauteils ist deren Belastung, bzw. Beanspruchung notwendig. Die Einsatzzeit in der ein Bauteil der Betriebsbelastung ausgesetzt ist, wird üblicherweise durch eine Beanspruchungs Zeit Funktion beschrieben. Eine Beanspruchungs Zeit Funktion kann grundlegend in drei Kategorien eingeteilt werden.

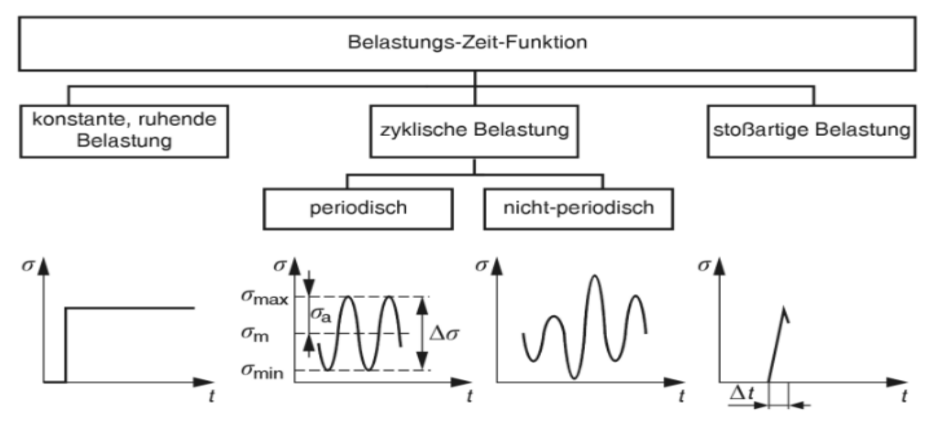


Abbildung 2: Systematisierung einer Beanspruchungs–Zeit–Funktion nach [MS08] [S.8]

2.2.1 Ermittlung einer Last – Zeit – Funktion

Für die experimentelle Ermittlung der Lebensdauer von Bauteilen wird eine Belastungs - Zeit - Funktion aufgezeichnet. Wobei man bei der Beurteilung unter qualitativer und quantitativer Analyse unterscheiden muss. Bei der qualitativen Analyse wird das Einsatzprofil eines Bauteils definiert. Diese Definition setzt sich aus der voraussichtlichen Nutzungsdauer sowie Verteilung und Reihenfolge der einzelnen Lastfälle zusammen. Bei der quantitativen Analyse werden die Bauteilbelastungen unter realen Belastungsbedingungen in Abhängigkeit der entsprechenden Lastfälle aufgezeichnet.
Zur Ermittlung der Bauteilbelastungen ist eine Vielzahl von Möglichkeiten gegeben. Grundsätzlich stehen Betriebslastmessungen, rechnerische Simulation, analytische Simulation sowie die Abschätzung zur Verfügung. Für die versuchstechnische Umsetzung einer Betriebslastmessung stehen verschiedene Sensoren zur Auswahl.

Sensoren für den direkten Kraftfluss:

- Kraftmessdosen
- Drehmomentmesswellen

oder

Sensoren für den indirekten Kraftfluss:

- DMS[5]

Ein wichtiges Kriterium hierbei ist, dass die aufgezeichnete Beanspruchungs - Zeit - Funktion ein repräsentatives Ergebnis liefert. Die rechnerische Simulation wird meist in der Konstruktionsphase angewandt. Bei diesem Verfahren wird die Belastung mit Hilfe eines FEM - Models[6] Simuliert.

Eine analytische Ermittlung der Belastung wird meist in Anlehnung an mechanische Modelle realisiert. (z.B. Balken oder Stäbe)
Des Weiteren ist eine Abschätzung auf Basis statistischer Daten und Verwendung von Regelwerken und Bauteilgeometrien möglich.

---

[5] Dehnungsmessstreifen (Abk.: DMS, englisch: strain gauge) sind Messeinrichtungen zur Erfassung von dehnenden Verformungen. „http://de.wikipedia.org/wiki/Dehnungsmessstreifen“

[6] Die Finite-Elemente-Methode (FEM), auch „Methode der finiten Elemente“ genannt, ist ein numerisches Verfahren zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen. http“://de.wikipedia.org/wiki/Finite-Elemente-Methode“

Auf Grund dieser besonderen Erkenntnisse der Belastung des Bauteils, können nun anhand analytischer, numerischer, oder Experimenteller Verfahren Bauteilbeanspruchungen abgeleitet werden.

2.3 Zähl und Klassierverfahren

Neben der harmonischen Analyse mittels der Fourier-Transformation hat sich die Klassierung als wichtiges Arbeitsmittel zur Untersuchung von Signalen, insbesondere von Belastungs-Zeit-Funktionen erwiesen. Außer den, nach einer festen Regel ablaufenden determinierten Schwingungen, kommen in der Technik häufig auch Schwingungen vor, die regellos verlaufen. Zum Erfassen solcher Vorgänge bedient man sich üblicherweise statistischer Methoden. Der Grundgedanke der Zähl - und Klassierverfahren ist es, eine Beanspruchungs-Zeit-Funktion in ihre Einzelschwingungen zu zerlegen und in verschiedene Klassen einzuteilen, um eine Lebensdauerberechnung durchführen zu können. Als ersten Schritt ist es notwendig, eine Klassierung vorzunehmen, damit im Anschluss eine Zählung erfolgen kann. Hierbei ist es wichtig, den Messbereich in äquidistante Klassen einzuteilen. Der Beanspruchungs-Zeit-Funktion werden für das jeweilige Klassierverfahren charakteristische Kennwerte entnommenen und ihrem Wert entsprechende in vorzugsweise gleichbreite Klasse gezählt. Um stochastische Vorgänge auszuwerten, muss zwischen ein und zweiparametrische Zählverfahren unterschieden werden.

2.3.1 Einparametrische Klassierverfahren

Das Auszählen von Überschreitungen oder Unterschreitungen von Klassengrenzen ist nur eines von mehreren bewährten Zählverfahren oder ("Klassierverfahren"), zur Registrierung von Betriebslastamplituden oder (entsprechenden Beanspruchungen) hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit. Die folgenden weiteren einparametrischen Zählverfahren, deren Entwicklung zunächst auf spezielle Zählgeräte abgestellt war sind bekannt:

- Spitzenwertzählung (peak counting) ist klassenweises Auszählen der Lastspitzen (Oberwerte bzw. Unterwerte) Variante mit Zählung nur der jeweils höchsten Spitze zwischen zwei Mittellastdurchgängen (mean crossing peak counting).
- Bereichszählung (range counting), auch Spannenzählung ist Auszählen der Klassenübergänge der ansteigenden bzw. abfallenden Lastausschläge unabhängig von ihrem jeweiligen Ausgangs- bzw. Mittelwert; Bereichspaarzählung (range pair counting), auch Spannenpaarzählung, Auszählen der Klassenübergänge erst dann, wenn zu einem ansteigenden Lastausschlag sich der entsprechende gleich weit abfallende Ast eingestellt hat (volles Schwingspiel).

- Momentanwertzählung (level distribution counting), ist klassenweises Auszählen der momentanen Lasthöhen in gleichen kleinen Zeitabständen; Variante als Verweildauerzählung.

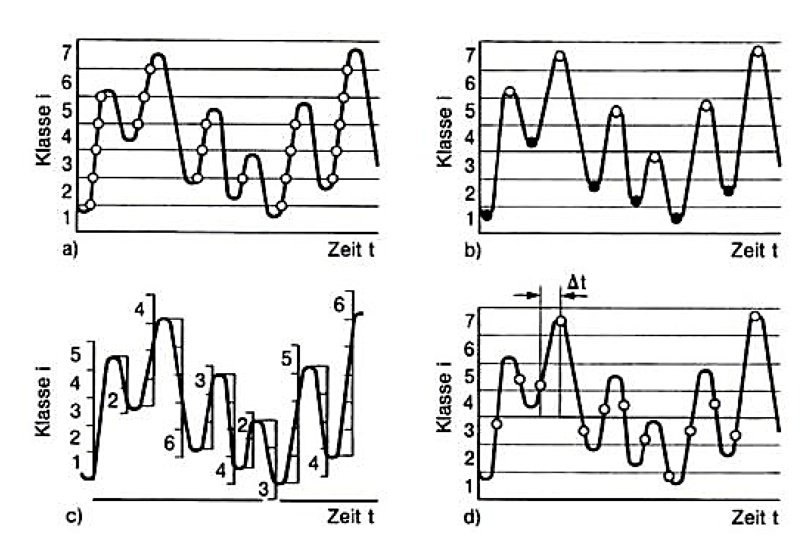


Abbildung 3: Einparametrische Klassierverfahren: Überschreitungszählung (a), Spitzenwertzählung (b), Bereichszählung (c) und Momentanwertzählung (d) , nach [DR03) [S.206]

Ein besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen einparametrische Zählverfahren zu geben. Da die Beanspruchungs - Zeit - Funktionen weder stochastisch noch mittelkonstant sind, führt dies zu unterschiedlichen Zählergebnissen, insbesondere zu unterschiedlichen Kollektivformen. Aus diesem Grund muss das Zählverfahren auf den Anwendungsfall abgestimmt werden. Um Rückschlüsse auf die Mittelschwankung zu bekommen, werden gerne Zählverfahren kombiniert. In diesem Fall werden die Bereichszählung und das Klassengrenzenüberschreitungsverfahren parallel ausgeführt. Um Probleme bei der Versuchs und rechentechnischen Weiterverarbeitung mittels Rücktransformation von Einparametrigen Zählergebnissen in vollständige Schwingspiele zu vermeiden, bedient man sich verschiedener Möglichkeiten.
Die besonders schädigende Art der Zählergebnisse, wie obere Über- bzw. Unterschreitungen, obere bzw. untere Spitzenwerte, oder auch Momentanwerte besteht darin, zuerst das Schwingspiel mit größtmöglicher Amplitude zu bilden und dann das mit zweitgrößter Amplitude usw., siehe Abb. 4. Das entspricht einer Beanspruchungs-Zeit-Funktion ohne Mittelwertänderung (Regelmäßigkeitsfaktor io = 1,0. Das Ergebnis der Rücktransformation hängt dabei von der Interpretation des Ausgangskollektivs ab. [DR03]

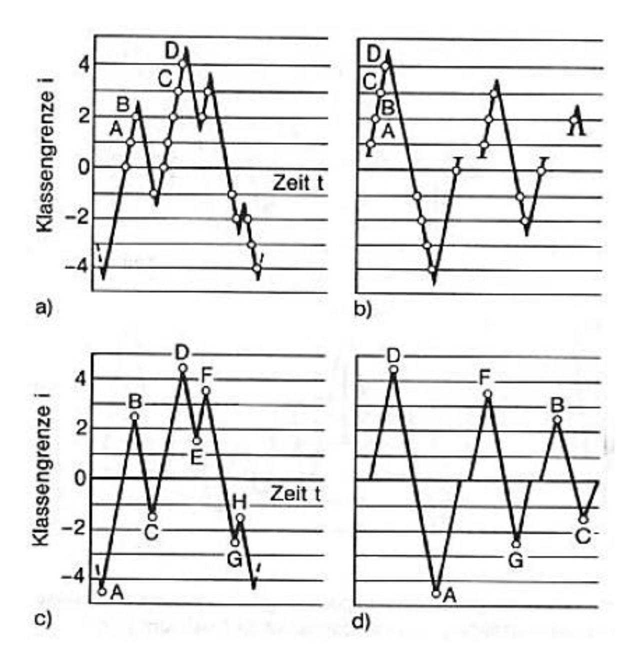


Abbildung 4: Rücktransformation des Ergebnisses einer Zählung der Überschreitungen bzw. Unterschreitungen von Klassengrenzen (a) und einer Zählung der oberen bzw.unteren Spitzenwerte je Klasse (c) auf volle Schwingspiele (b,d) beginnend mit der größtmöglichen Amplitude. ,nach [DR03] [S.207]

Selbst bei der Bedingung io = 1,0 für zwei unterschiedliche Beanspruchungs-Zeit-Funktion können identische Ergebnisse auftreten. In der Darstellung des Spannungs-Dehnungs-Diagramms Abb. 5 sind die Dehnungsabläufe mit unterschiedlichen Zustandsfolgen dargestellt. Dadurch wird die Ermüdungsfestigkeit beeinflusst und das Ergebnis der Rücktransformation ist wiederum nicht eindeutig.

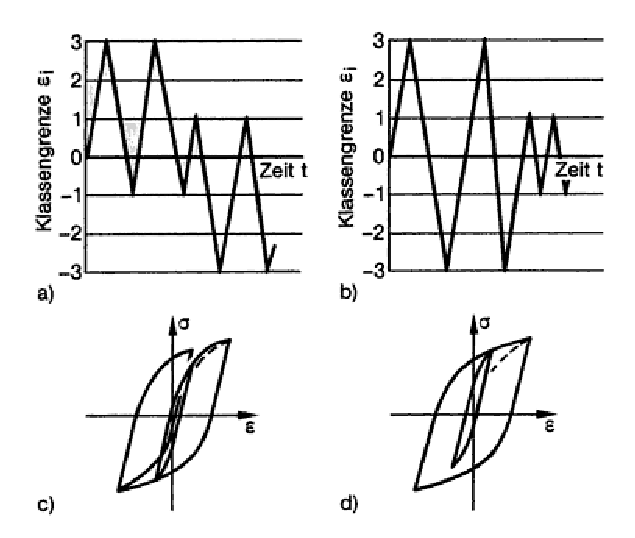


Abbildung 5: Unterschiedliche Dehnungsfolgen mit identischem Zählergebnis nach Klas sengrenzenüberschreitungen (a, b) und zugehörige zyklische Spannungs-Dehnungs-Diagramme (c, d) nach [DR03] [S.207]

Die nicht erfassten Reihenfolgeeffekte der ein- und zweiparametrigen Zählverfahren werden in Abb. 6 gezeigt.

In den folgenden zwei Dehnungsabläufen ist der Unterschied bei identischem Zählergebnis ersichtlich. Dies macht sich bei der Reihenfolge von Über- und Unterbeanspruchung am Schwingspielbeginn bemerkbar. Im ersten Fall beginnt der darauffolgende Schwingvorgang unter Zugspannung und im zweiten Fall unter Druckmittelspannung. Dies hat unterschiedliche Auswirkung auf die Ermüdungsfestigkeit.

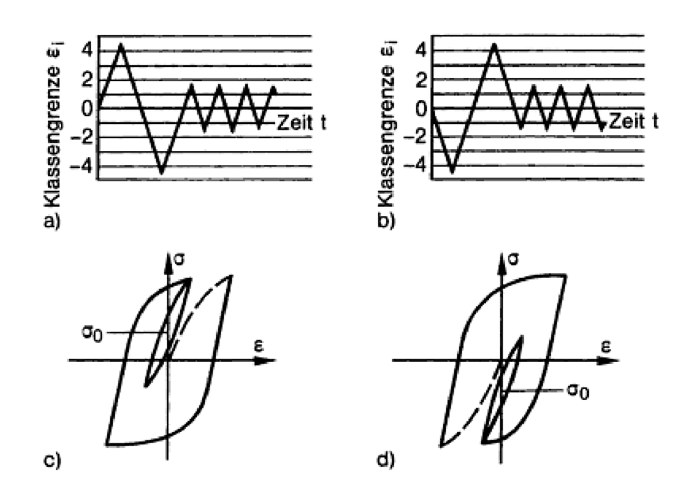


Abbildung 6: Unterschiedliche Reihenfolge einer vorangestellten Über- und Unterbeanspruchung mit identischem Zählergebnis nach Klassengrenzenüberschreitungen (a,b) und zugehörige zyklische Spannungs-Dehnungs-Diagramme (c,d) nach [DR03] [S.208]

2.3.2 Zweiparametrische Klassierverfahren (Rainflow-Klassierung)

Als wichtigstes Verfahren hat sich heute die Bereichspaar-Mittelwert- bzw. Rainflow-Zählung durchgesetzt. Sie gehört zu den zweiparametrischen Zählverfahren, aus deren Ergebnis (Rainflow-Matrix) auch die für die Praxis bedeutendsten einparametrische Ergebnisse wie Klassengrenzenüberschreitungen (level crossing), Bereichspaare (range pairs), sowie die Ergebnisse der Spitzenzählung (peak counting) eindeutig ableitbar sind. Der Reihenfolgeeffekt und der Frequenzeinfluss werden jedoch wiederum nicht erfasst. [DR03]

Lastfolge im Klassenraster
(Zählen der Übergänge "nach oben")

Zeit t

Zahl der Übergänge nach

von \ nach	1	2	3	4	5	6	7	8
1						3		
2				1	1			
3					2	1		
4					1	1	1	
5								1
6								
7								
8								

Übergänge "nach unten"

Abbildung 7: Zweiparametrisches Klassierverfahren, Zuordnung der Umkehrpunkte der Last-Zeit-Funktion zu Ausgangs- und Zielklassen, Zählung der Übergangshäufigkeiten und Darstellung in einer Matrix [DR03] [S. 209]

„Dem Rain-Flow-Verfahren, entwickelt von Matsuishi und Endo, liegt folgende Modellvorstellung zugrunde“[DR03] Das zu klassierende Signal ist so zu betrachten, dass in einem Koordinatensystem die Zeitachse vertikal gerichtet ist. Es wertet die Dehnungs-Zeit-Funktion in grafischer Analogie zum (in Japan geläufigen) Regenwasserfluss von *Pagodendach* aus. Dieser Vorgang erfasst die Hysteresenschleifen Abb. 8.

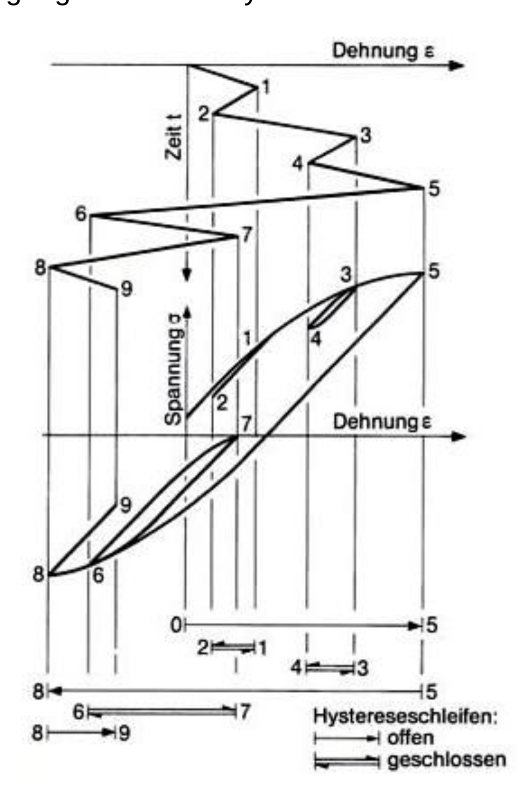


Abbildung 8: Zweiparametrisches Klassierverfahren Rainflow-Zählung, Beziehung zwschen Dehnungs-Zeit-Funktion, zyklischem Werkstoffverhalten und gezählten Hys tereseschleifen. nach [DR03] [S.210]

Die Schwingbreiten zwischen den Extremwerten des Signals, die die gleiche Richtung aufweisen, werden als eine Aufeinanderfolge von Dächern angesehen. Von der Innenseite jedes Extremwerts soll nacheinander Regen fließen. Dieser Regenablauf bestimmt die Zählvorschrift.

Es gelten folgende Regeln:

- Auf der Innenseite jeder Spitze beginnt ein Zählvorgang.
- Ein Zählvorgang ist beendet, wenn ausgehend von einem Minimum, ein betragsmäßig größeres Minimum erreicht wird,
- oder ausgehend von einem Maximum, ein betragsmäßig größeres Maximum erreicht wird.
- Ein Zählvorgang endet ebenfalls, wenn der Zählvorgang auf den Verlauf eines Zählvorgangs einer vorgehenden Spitze trifft.

Jeder Regenwasserfluss vom Anfangs- bis zum Endpunkt, wird als Halbzyklus gewertet. Halbzyklen gleicher Größe, aber entgegengesetzter Richtung ergeben einen vollen Zyklus. Jeder volle Zyklus entspricht einer geschlossenen Hystereschleife. Die in Pfeilspitzen endenden Regenwasserflüsse am unteren Diagrammrand entsprechen offenbleibenden Halbschleifen.

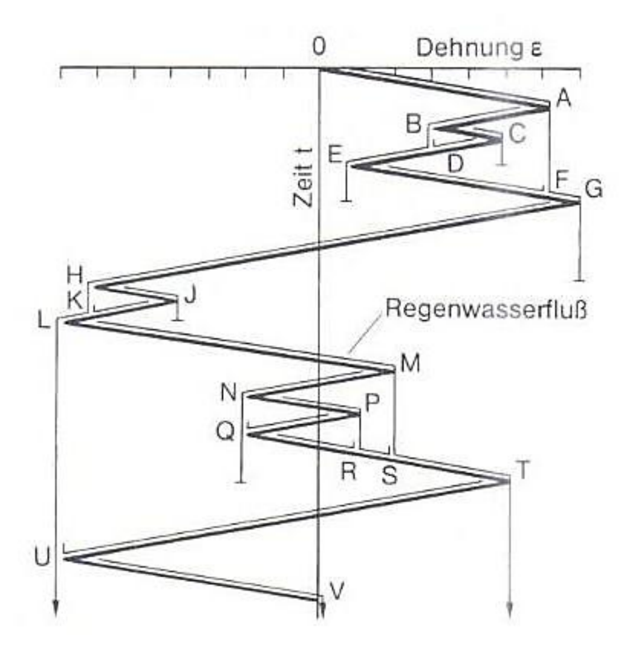


Abbildung 9: Rainflow-Zählung, Regenwasserflüsse zwischen Ausgangs- und Endpunkt, nach [DR03] [S.211]

In der Übergangsmatrix werden dann, die zwischen Start und Endpunkt geschlossenen Schleifen dokumentiert. Aus dieser Matrix lassen sich dann die herkömmlichen Kollektive der Klassengrenzenüberschreitung und Bereichspaar herleiten. Andersherum ist dies leider nicht möglich. Die Schleifen die nicht geschlossen wurden, bilden das Residuum[7]. Wenn die Zählung jedoch beim betragsmäßigen Dehnungswert beginnt und auch wieder endet, wird kein Residuum gebildet. Sollte das Residuum nicht von alleine verschwinden, werden die nicht geschlossenen Schleifen künstlich geschlossen und der Übergangsmatrix hinzugerechnet. Matrizen aufeinanderfolgender Beanspruchungsabläufe werden einfach addiert. Eine Extrapolation bei nicht ausreichenden Messdaten ist nicht zu empfehlen, aber dennoch ein weit verbreitetes Instrument in der Technik. Ein zuverlässigeres Verfahren ist es, ein repräsentatives Versuchsprogramm vorzubereiten, um gezielte Analysen treffen zu können.

[7] Residuum speziell in der Numerik ist die Größe, um die eine Gleichung nicht erfüllt ist, wenn man eine Näherung der Lösung einsetzt, im Gegensatz zum Fehler, also den Abstand der Näherung zur Lösung,

3 Themenstellende Firma

Das folgende Kapitel befasst sich mit der Vorstellung der Themenstellenden Firma und ihren verschiedenen Tätigkeitsbereichen.

3.1 Die ALSTOM Gruppe

ALSTOM ist ein weltweiter Marktführer im Energie- und Transportbereich.

ALSTOM ist führend im Bau von Anlagen und Produkten für die Stromerzeugung, Energieübertragung und Schieneninfrastruktur. ALSTOM setzt Maßstäbe für innovative und umweltfreundliche Technologien. Der Konzern baut den schnellsten Zug und die kapazitätsstärkste U-Bahn der Welt. Zudem bietet ALSTOM Lösungen und Dienstleistungen für schlüsselfertige Kraftwerke, die Strom aus Gas, Kohle, Wasser und Wind erzeugen für Kernkraftwerke liefert der Konzern Komponenten für den konventionellen Teil. Der Schwerpunkt im Bereich Energieübertragung liegt auf der Entwicklung von intelligenten Lösungen.

ALSTOM beschäftigt 92.700 Menschen in rund 100 Ländern und erzielte im Geschäftsjahr 2010/2011 einen Umsatz von 20,9 Milliarden Euro. Der Konzern nahm Aufträge im Wert von 19,1 Milliarden Euro entgegen und übertraf damit das Vorjahresniveau. ALSTOM erzielte ein Betriebsergebnis von 1,57 Milliarden Euro.

In Deutschland beschäftigt ALSTOM 9.000 Personen an 23 Standorten in den Geschäftsbereichen Power, Transport und Grid.

Die ATD[8] in Salzgitter ist einer der größten Entwicklungs und Produktionsstandorte von Schienenfahrzeugen in Deutschland, sowie das größte Werk bei ALSTOM Transport.

---

[8] Alstom Transport Deutschland GmbH

3.1.1 ALSTOM Transport Deutschland GmbH

ALSTOM Transport in Deutschland gehört zu den weltweit führenden Komplettanbietern von Bahntechnik und Dienstleistungen rund um die Bahn. ALSTOM Transport entwickelt innovative und umweltfreundliche Konzepte für den Personen und Güterverkehr auf der Schiene. Zu den Kunden gehören Bahnverwaltungen, kommunale und private Verkehrsunternehmen sowie Leasinggesellschaften in Deutschland, Europa und aller Welt. ALSTOM Transport liefert Triebzüge, Waggons und Lokomotiven, sowie modernste Leit- und Sicherungstechnik. Reparatur und Instandhaltungsservice ergänzen das Programm.

Das ALSTOM Transport Leistungsspektrum umfasst:

- Niederflurige CITADIS Straßen- und Regionalstadtbahnen
- Zuverlässige Stadtbahnen, S- und U-Bahnen
- Individuell gestaltbare Regionaltriebwagen CORADIA Lint, CORADIA Continental und CORADIA Nordic
- CORADIA Duplex Doppelstocktriebwagen mit hoher Fahrgastkapazität
- Ein- und doppelstöckige Reisezugwagen
- Leistungsstarke neue Lokomotiven
- Maßgeschneiderte Güterwagen
- Restaurantwagen für den Hochgeschwindigkeitszug ICE
- Dienstleistungen wie Instandhaltung, Ersatzteil- und Reparaturservice Komponenten
- Leit- und Sicherungstechnik für alle Verkehre – auf dem neuesten technischen Stand.

3.1.2 ALSTOM Transport Deutschland GmbH in Salzgitter

Der Standort Salzgitter ist im ALSTOM Konzern das internationale Kompetenzzentrum für Regionaltriebzüge und Regionalstadtbahnen, sowie Produktionsstätte für Drehgestelle[9] und Güterwagen. Rund 2.200 qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind dort auf die Entwicklung und Herstellung von qualitativ hochwertigen Schienenfahrzeugen, Komponenten und Dienstleistungen spezialisiert.

[9] Ein Drehgestell ist ein Laufwerk eines Schienenfahrzeuges, bei dem zwei oder mehr Radsätze gefedert in einem Rahmen gelagert werden, der sich in Kurven gegenüber dem Wagenkasten verdrehen kann.



Abbildung 10: ALSTOM Transport Deutschland GmbH [ATD]

"Made in Salzgitter" – für die Schienen der Welt

Auf dem 123 Hektar großen Gelände der ALSTOM Transport Deutschland GmbH werden Schienenfahrzeuge und Komponenten produziert. Dank der fortschrittlichen Fertigungsmethoden bietet ALSTOM den Kunden marktgerechte Produkte, die auf ihre individuellen Wünsche zugeschnitten werden. Ein Beispiel ist die innovative Stahlleichtbauweise. Ein bis zwei komplette Züge verlassen täglich die Werkshallen, das sind bis zu 400 Einheiten pro Jahr. Hinzu kommen fast 1000 Drehgestelle jährlich. Auf der 1,4 km langen Teststrecke werden alle Züge auf Herz und Nieren geprüft, bevor sie in Betrieb gehen.

3.1.3 Die Abteilung RP9

Die Abteilung RP9 der ATD ist verantwortlich für die Zertifizierung und Validierung aller technischen Basis und Sub – Systeme, die in Schienenfahrzeugen verbaut sind.
Ziel aller Zertifizierungs - und Validierungsaktivitäten ist der Nachweis, der Qualifizierung eines Produktes für seine bestimmungsgemäße Verwendung. Wesentliche Prinzipien um das Risiko zusätzlicher Kosten und Verzögerungen zu verringern, sind die frühzeitige Verifizierung, bereits während der Konstruktions- und Entwicklungsphase. Ein weiterer Aspekt ist die komplette Validierung des Produktes vor dem Start der Serienproduktion.

Die hier genannte Diplomarbeit wird von der Prüfstelle der ATD betreut, die zur Abteilung RP9 gehört. Die Prüfstelle setzt sich mit folgenden Schwerpunkten auseinander, Festig-

keitsprüfungen an Wagenkästen, Schadensuntersuchungen, Prüfung von Kleinkomponenten, fahrtechnischen Zulassungen, Streckenversuche an Drehgestellrahmen, Beanspruchungsmessung an Radsatzwellen und Fahrkomfortmessungen auseinander.

3.2 Umsetzung einer Festigkeitsuntersuchung bei der ATD

Laut [DIN EN 13749] müssen folgende Vorgaben bei einer Festigkeitsuntersuchung erfüllt sein, die in 4 Phasen für das Validierungsverfahren für die Festigkeit eines Bauteils vorgegeben:

- Rechnerischer Nachweis
- Statische Versuche
- Dauerversuche
- Streckenversuche mit anschließender Lebensdauerabschätzung

Die Streckenversuche müssen dabei folgendes abprüfen:

- Betriebsbelastungen
- Gebrauchstauglickeit
- Konstruktionsvoraussetzungen

Des Weiteren muss eine Aussagekräftige Spezifikation mit folgenden Punkten angefertigt werden.

- Welches Fahrzeug
- Testfahrtbeschreibung
- Auszuübende Belastungen an das Fahrzeug
- Messstellenplan
- Auswerteverfahren der Belastungen und Beanspruchungen
- Zulässige Belastungsgrenzen
- Alle erforderlichen Freigabekreterien

Die Streckenversuche müssen mit Testfahrzeugen, Nutzlasten, Gleisqualitäten und Geschwindigkeitsprofil durchgeführt werden, die alle typisch für die vorgesehenen Betriebsbedingungen sind.

4 Beschreibung des Versuchsobjektes

Dieses Kapitel dient dem Zweck, einen Überblick über das Versuchsobjekt, sowie dessen Stellenwert im ALSTOM Konzern wiederzugeben. Des Weiteren soll es das Einsatzgebiet des Fahrzeuges, die Abmessungen sowie die zu untersuchende Komponente vorstellen.

4.1 Der Coradia – LINT

Der ALSTOM Coradia **LINT** ist in der Familie der Nahverkehrs-Dieseltriebwagen angesiedelt. Das Akronym „LINT“ steht dabei für „**l**eichter **i**nnovativer **N**ahverkehrs**t**riebwagen“. Der LINT wurde von der damaligen Firma **L**inke-**H**ofmann-**B**usch (**LHB**) entworfen und nach der Übernahme durch den ALSTOM Konzern innerhalb der ALSTOM *Coradia* Familie weiter vermarktet. Am zweiten November 2011 erfolgte die Auslieferung des 500sten Coradia LINT. Da so eine hohe Stückzahl von verkauften Fahrzeugen im Schienenfahrzeug Sektor eher unüblich ist, kann bei dem Coradia LINT schon beinahe von einem Serienfahrzeug gesprochen werden. In der Regel wird jedes Fahrzeug für den Kunden neu entworfen und genau auf die Bedürfnisse des späteren Einsatzgebietes zugeschnitten.

4.2 Der LINT 41 für „DB AG[10]“



Abbildung 11: Coradia - LINT41 für „DB AG“ [ATD/1]

[10] Deutsche Bahn Aktien Gesellschaft

Die Typenbezeichnung gibt durch eine angehängte Zahl die ungefähre Länge in Metern an. Der LINT 41 besteht aus zwei Wagenhälften, die sich in der Zugmitte auf ein Drehgestell stützen. Diese Art der Drehgestelle nennen sich Jakobs Drehgestelle. Im Hochflurteil zwischen Triebdrehgestell und Einstiegsbereich beider Wagen, sind unterflur die je 315 kW leistenden Motoren eingebaut und treiben jeweils die Achsen des End Drehgestells über Kardanwellen und Achsgetriebe an. Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei dieser Konstellation bei 120 km/h

Der Lint 41 für DB AG ist auf folgendem Streckennetzten im Einsatz:

- Kiel - Flensburg (81km)
- Kiel – Neumünster (31km)

und hat dabei folgende Abmessungen:

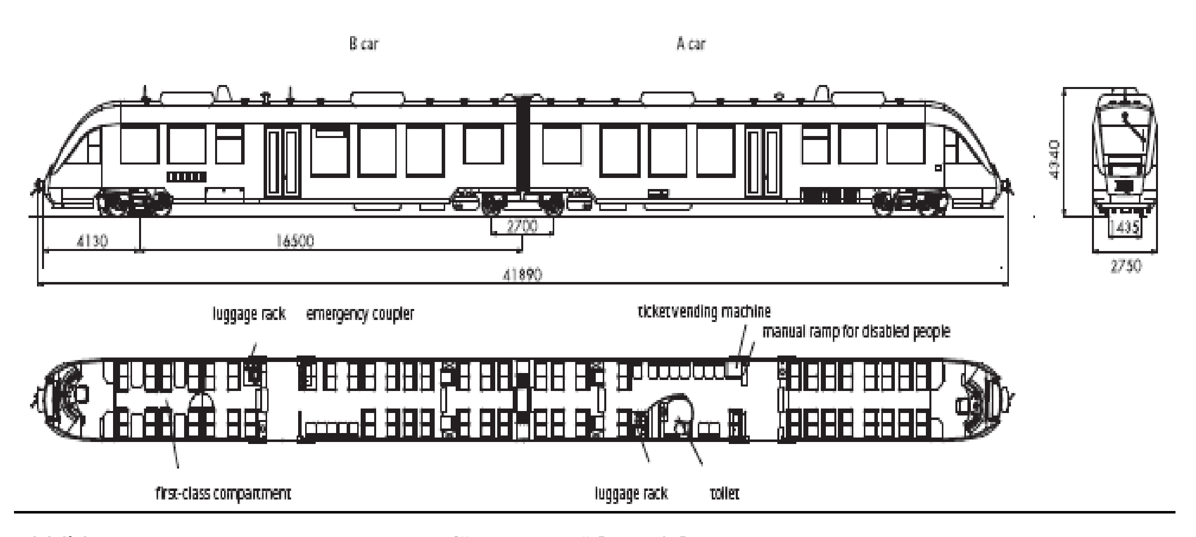


Abbildung 12: Abmessungen Lint 41 für „DB AG“ [ATD/2]

- Fahrzeuglänge 41,1m
- Fahrzeugbreite 2,750m
- Fahrzeughöhe 4,34m
- Einstiegshöhe 0,78m
- Spurbreite 1,435m
- Gewicht 65t
- Maximale Achslast 18t

4.3 Untersuchte Komponente

Wie zuvor in Kapitel 4.2 erwähnt, befinden sich im Hochflurteil zwischen Triebdrehgestell und Einstiegsbereich beider Wagen unterflur, die je 315 kW leistenden Motoren. Diese treiben jeweils die Achsen des End-Drehgestells über Kardanwellen und Achsgetriebe an. Letztendlich bringen Radsatz und Radsatzwendegetriebe die vom Schaltgetriebe übersetzte Motorleistung auf die Schiene. Die beim LINT verwendeten Getriebe werden vom Hersteller ZF – Antriebstechnik hergestellt. Sie treiben die Radsätze an und ermöglichen durch eine Wendeschaltung den Richtungswechsel.

Da die Radsatzwellengetriebe das Bestreben haben, sich während der Rotation mit zu drehen, sind diese durch eine Drehmomentstütze mit einer zugehörigen Pendelstütze am Drehgestellrahmen fest verbunden.

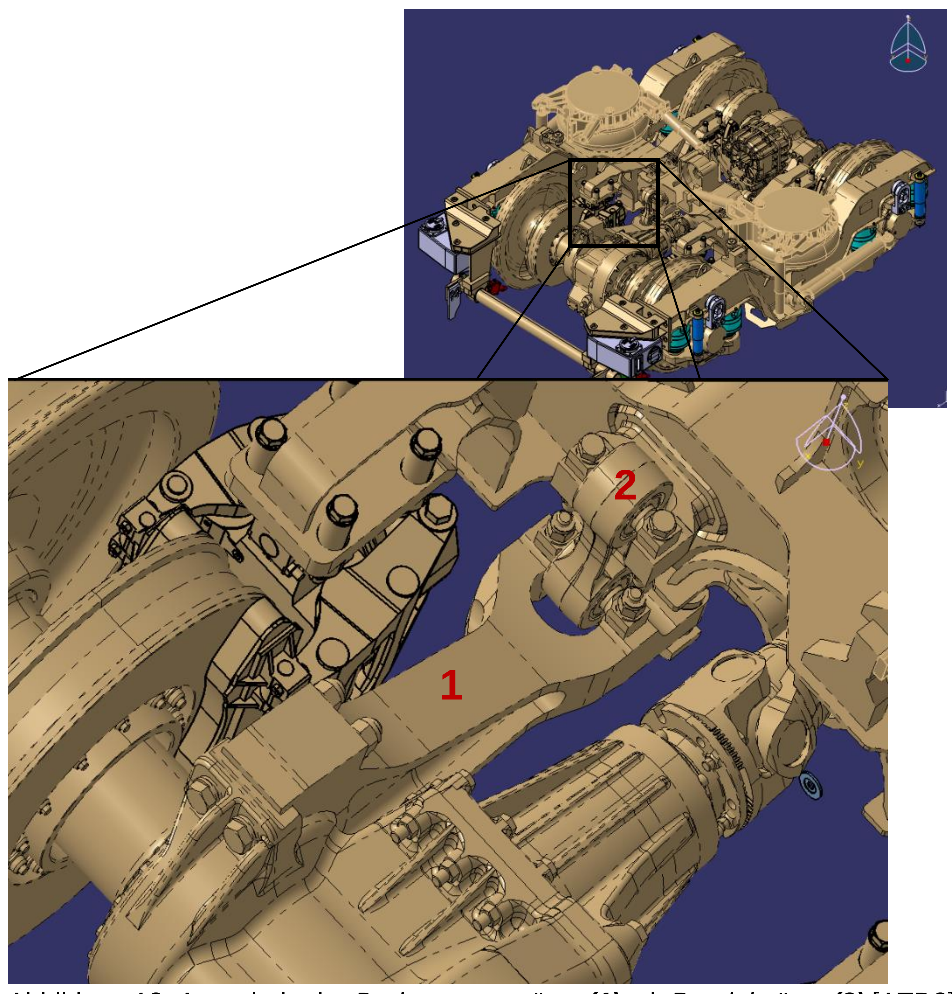


Abbildung 13: Ausschnitt der *Drehmomentstütze* ***(1)*** mit *Pendelstütze* ***(2)*** [ATD3]

Über diese Verbindung wird somit die aufgebrachte Kraft in den Drehgestellrahmen übertragen.

Durch einen Serienfehler seitens ZF – Antriebstechnik, sind alle verbauten Getriebe mit einer Schwächung des Gehäuses ausgeliefert worden. Durch diesen Serienfehler wurde nun seitens ALSTOM die Betriebsfestigkeit der Radsatzwellengetriebe in Frage gestellt. Aus diesem Anlass wurde die ZF – Antriebstechnik beauftragt, ihre Nachweispflicht gegenüber der Betriebsfestigkeit, erneut zu erfüllen. Aus diesem Grund hat ALSTOM sich überlegt, die Pendelstütze mit DMS[11] auszurüsten, um die auftretenden Kräfte zu messen. Die Entscheidung fiel auf DMS, da diese sich gegenüber Kraftmessdosen bei jeder Art von Bauteilgeometrien leicht und unkompliziert einsetzen lassen, ohne dabei die Einbausituation zu verändern.

[11] Dehnungsmesstreifen

5 Versuchsvorbereitung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Planung des Versuches. Dies beinhalten unter anderem die Vorbereitung der Pendelstütze für die Messung, sowie die Streckenplanung. Eine sorgfältige Streckenplanung ist von äußerster Bedeutung, um ein repräsentatives Lastkollektiv zu erhalten.

5.1 Vorbereiten der Pendelstütze

Die Pendelstütze wurde von ALSTOM bereitgestellt und der ZF – Antriebstechnik zur Vorbereitung zugeschickt. Die Vorbereitung umfasste dabei einige wesentliche Schritte die seitens ZF zu beachten waren:

- Wheatstonesche Brückenschaltung
- Anwendungsart der Brückenschaltung
- Auswahl geeigneter DMS
- Anschlußart der DMS
- Installation der DMS
- Kalibrierung der Pendelstütze
- Bereitstellung der Signale seitens ZF – Antriebstechnik an ALSTOM

5.1.1 Wheatstonesche Brückenschaltung

Die wheatstonesche Brückenschaltung ist eine Schaltung, mit der elektrische Wiederstände gemessen werden können. In der DMS Technik wird diese Schaltung zur Bestimmung relativer Widerstandsänderungen genutzt. Sie erlaubt es, die relativen Widerstandsänderungen der DMS mit einem Höchstmaß an Genauigkeit zu messen.

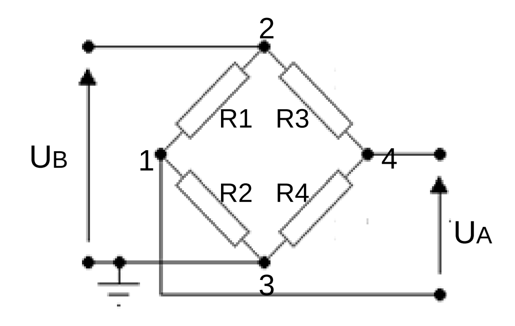


Abbildung 14: Wheatstone’sche Brückenschaltung

Legt man an die beiden Brückenspeisepunkte 2 und 3 eine Brückenspeisespannung U_B an, dann teilt sich diese in den beiden Brückenhälften R1, R2 und R3, R4 jeweils im Verhältnis der Brückenwiderstände auf. Dies bedeutet, dass jede Brückenhälfte einen Spannungsteiler bildet.
Die am Brückeneckpunkt 1 anstehende Teilspannung U_1 errechnet sich zu:

$$U_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * U_B$$

Die am Brückenpunkt 4 anstehende Teilspannung U_4 zu:

$$U_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} * U_B$$

Die Differenz zwischen den beiden Teilspannungen ist die Brückenausgangsspannung U_A:

$$U_A = U_B \left[\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) - \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \right] = U_1 - U_4$$

Definiert man als Brückenverstimmung die relative Ausgangsspannung ${U_A}/{U_B}$,

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Oder

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{R_2 * R_3 - R_1 * R_4}{(R_1 + R_2) * (R_3 + R_4)}$$

Es gibt zwei Zustände in denen $U_A = 0$ ist. Entweder alle Brückenwiderstände sind gleich groß, oder die Widerstandsverhältnisse der Brückenhälften sind gleich groß. Somit gilt die Brückenschaltung als abgeglichen. Ändern sich die Brückenwiderstände R_1 bis R_4 in ihrem Betrag ΔR, dann wird die Brückenschaltung verstimmt und zwischen den Punkten 1 und 4 steht eine Ausgangsspannung U_A an. Die Gleichung geht über in:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{R_2 + \Delta R_2}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4}$$

Mit dieser Gleichung lassen sich alle Brückenzustände berechnen.

In der DMS Praxis sollen jedoch alle Brückenzweige den gleichen Widerstand haben.

5.1.2 Anwendungsart der Brückenschaltung

Dadurch, dass die Kräfte an der Pendelstütze gemessen werden sollten, und die Einbaulage im Drehgestell einen eindeutigen einachsigen Kraftfluss durch die Pendelstütze darstellte, fiel die Entscheidung auf ein Verschalten der Messbrücke nach dem Prinzip des Zug-/Druckstabes. Beim Zugstab entsteht in der Kraftwirkungsrichtung (Längsrichtung) die positive Längsdehnung ε1 und in der Querrichtung die negative Querdehung (Querkontraktion) εq Beim Druckstab ist die Längsdehnung negativ und die Querdehnung positiv.

Für die Längsdehnung gilt die Beziehung:

$$\varepsilon_1 = \frac{F}{A*E}$$

ε1 = Dehnung, F = Kraft, A = Fläche, E= Elastizitätsmodul;

Bei reiner Normalkraft ist $\varepsilon_1 = \varepsilon_n$.
Für die Querdehnung gilt:

$$\varepsilon_q = \text{- v} * \varepsilon_1 = \text{- v} \frac{F}{A*E}$$

ε1 = Dehnung, F = Kraft, A = Fläche, εq = Querdehnung, E= Elastizitätsmodul -V = Querkontraktionszahl;

Die Entscheidung fiel auf den Schaltungstypen Vollbrücke. Dieser setzt sich aus vier aktiven DMS zusammen, die miteinander zu einer Vollbrücke verschaltet werden. Bei ihr sind alle vier Brückenarme mit messenden DMS besetzt und räumlich in enger Nachbarschaft angeordnet. Wärmedehnungen werden bei dieser Art der Schaltungsanwendung sehr gut kompensiert. Die Messwerte setzen sich hierbei wie folgt zusammen:

$$\varepsilon_a = (\varepsilon_{mech1} + \varepsilon_{therm1}) - (\varepsilon_{mech2} + \varepsilon_{therm2}) + (\varepsilon_{mech3} + \varepsilon_{therm3}) - (\varepsilon_{mech4} + \varepsilon_{therm4}) = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$$

ε= Dehnung

Die Wärmedehnung in der Pendelstütze wirkt auf alle vier DMS in gleicher Weise ein, wodurch sich eine sehr gute Temperaturkompensation ergibt. Das Messsignal besteht aus der arithmetischen Summe der von den vier DMS erfassten Einzeldehnungen $\varepsilon_1$bis ε_4

Durch die Spiegelsymmetrisch angeordneten DMS auf der Pendelstütze und die symmetrische Bauteilform, werden überlagerte Biegedehnungen kompensiert.

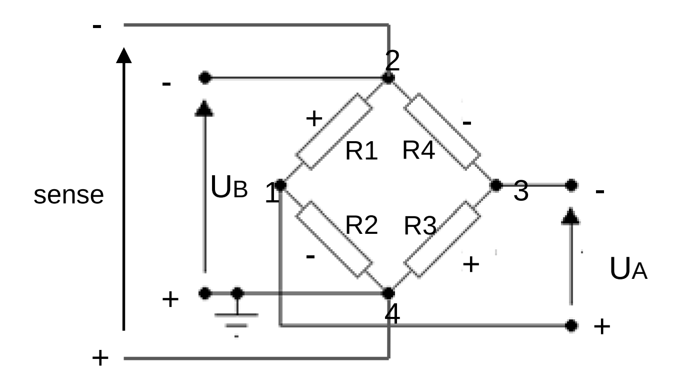


Abbildung 15: Schematische Übersicht der Verschalteten Brückenzweige

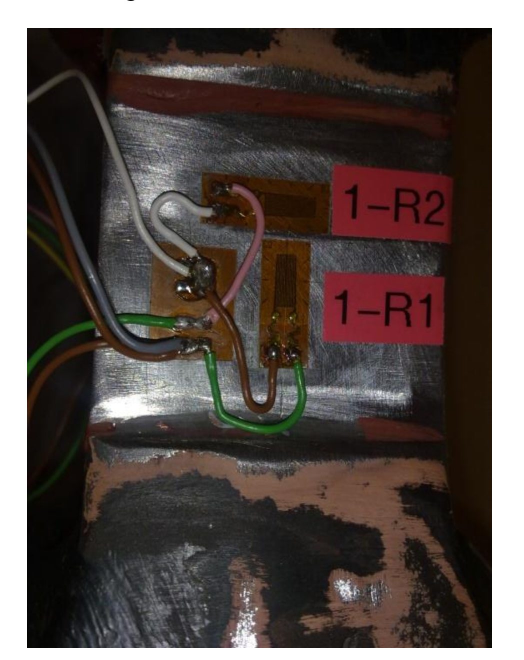




Abbildung 16: Verschaltete Pendelstütze *1-R2 / 1 – R4 und 1-R1 / 1-R3*

5.1.3 Auswahl geeigneter DMS

Bei der Auswahl geeigneter DMS wurden Dehnungsmessstreifen der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik aus Darmstadt verwendet. Es wurde auf die Y – Serie gesetzt, die sich durch folgende Merkmale besonders anbot:

DMS der Serie Y:

- sehr gute Messeigenschaften
- verschiedene Anschlusskonfigurationen
- flexibel, daher einfache Handhabung
- große Geometrievielfalt
- viele Geometrien sind in verschiedenen Nennwiderständen (120 Ω, 350 Ω, 700 Ω, 1000 Ω) verfügbar.

Nach der Auswahl der entsprechenden Serie, musste nun der richtige Typ gefunden werden. Auf Basis der Materialeigenschaften und Geometriedaten der Pendelstütze, fiel die Wahl auf den Typen LY61-6/120. Dies ist ein Folien DMS, auf dem bauartbedingt ein Messgitter auf einer Trägerfolie angeordnet ist. Der DMS hat eine Messgitterlänge von 6mm, einen angepassten Temperaturgang an Stahl und einen Nennwiderstand von 120Ω.

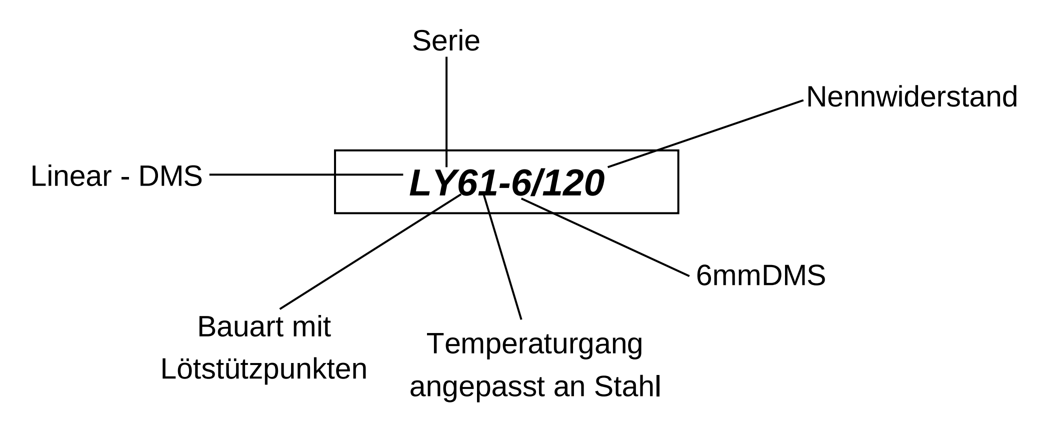


Abbildung 17: Aufschlüsslung DMS

5.1.4 Anschlußart der DMS

Bei der Anschlußart der DMS wurde die so genannte 6 Leiter Schaltung angewandt. Ist die Zuleitung von Sensor auf DMS Anschluss zu lang, führt ein Spannungsabfall infolge des durch den Speisestrom an den Leitungswiderständen der Speiseleitung zu einer Verfälschung des Ausgangssignals. Um dies zu vermeiden wird eine Fühlerleitung am Speisungsanschluss des Sensors hinzugefügt (Sense). Diese ermöglicht es, den Spannungsabfall zu messen und mit der Soll Brückenspeisespannung zu vergleichen und gegebenenfalls zu korrigieren. Die Leitungswiderstände der Fühlerleitungen stören nicht, da über sie kein Strom fließt. Durch diese Art der Schaltung wurde gewährleistet, dass die Leitungslänge keinen Einfluss auf die Messung hat.

5.1.5 Installation der DMS

Die DMS wurden rechts und links auf der Pendelstütze zentrisch installiert. Dies musste mit äußerster Sorgfalt geschehen, da ein Richtungsfehler von 5° bei der Hauptachse einen Messfehler von -1% und bei der Hauptrichtung (quer) einen Fehler von -3,3% ergibt. Dazu mussten die Messstellen nach einer bestimmten Vorgehensweise vorbereitet werden. Als erstes wurden die Messstellen geschliffen. Dies hatte den Hintergrund, dass bei der Klebung eine gewisse Oberflächenrauhigkeit vorhanden sein muss, um eine ordnungsgemäße Haftung des DMS zu gewährleisten. Zur Verwendung kam ein Schleifpa-

pier der Körnung 180. Die freigelegte Fläche sollte minimal größer als der zu verwendende DMS sein. Schmutzpartikel und Staub mussten sorgfältig entfernt werden. Dazu wurden die Messstellen mit einem Spezialreiniger gereinigt. Die Applikation der DMS erfolgte unmittelbar nach dem Schleifen und Reinigen der Messstellen, um zu verhindern, dass sich eine Oxidschicht bildete. Zum Kleben wurde ein Stück Teflonband und Teflonfolie bereitgelegt. Anschließend wurde ein Tropfen des Klebstoffes auf die Messstelle getropft und vorsichtig mit dem Teflonband ohne Druck auszuüben und die Messstelle zu berühren verteilt. Nachfolgend wurde sofort der DMS mittels Teflonfolie auf die Klebstoffschicht aufgedrückt und mit dem Stück Teflonfolie - für ca. 1 min gleichmäßig mit dem Daumen festgedrückt. Bei der Verwendung des Klebstoffes mussten einige Parameter beachtet werden. Bei einer zu geringen Feuchtigkeit (relative Feuchte _ 30...40%), sauer reagierender Oberfläche, oder einer zu niedrigen Temperatur hätte ein Beschleuniger zum Kleben verwendet werden müssen.

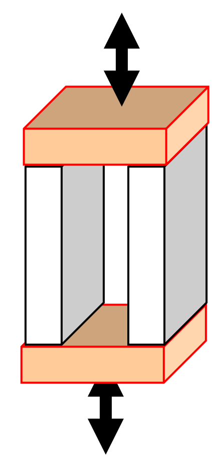
5.1.6 Kalibrierung der Pendelstütze

Als erstes musste geklärt werden, für welche Kraft die Pendelstütze kalibriert werden muss. Dazu wurde folgende Betrachtung aufgestellt:

Das theoretisch maximale, getriebeseitige Eingangsmoment beträgt 8000Nm. Bei angenommener Lastverteilung von 50/50 auf die Master/Slave Getriebe, sowie einer erweiterten Getriebestufe und einem Hebelarm von 0,702m ergibt sich eine Abstützkraft an jeder Pendelstütze von 14757N (siehe Abb.13). Dieser Wert ist aus rein statischer Sicht, ohne jeglichen dynamischen Einfluss, oder mechanischer Verspannung und Beschleunigung. Demzufolge hat die Pendelstütze eine theoretische mechanische Sicherheit bis 60000N Dies würde eine Sicherheit gegenüber dem maximalen Motormoment bei 50/50 Lastverteilung von 4 betragen. Zur theoretischen Abschätzung des Kalibrierwertes wurde vorher eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt.

Plausibilitätsprüfung:

$$F = \frac{Zug}{Druck} \quad 60\text{kN}$$



$$Flacheisen = 2 * 9mm * 40mm$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{60000N}{2x9mmx40mm} = 83{,}3333 \frac{N}{mm^2}$$

$$\varepsilon = \frac{2\sigma}{4E} * 2(1+\nu) = \frac{2x83{,}333\frac{N}{mm^2}}{4x210\frac{N}{mm^2}} * 2(1+0{,}3) = 0{,}5159\frac{mV}{V}$$

Theoretischer Kalibrierfaktor $= \frac{F}{\varepsilon} = \frac{60kN}{0{,}5159\frac{mV}{V}} = 116{,}302\frac{kN}{\frac{mV}{V}}$

Abbildung 18: Technische Zeichnung Pendelstütze

σ= Sigma, ε= Epsilon, F= Kraft, A= Fläche, E= Elastizitätsmodul, ν= Querkontraktionszahl;

Zur praktischen Analyse des Kalibrierfaktors, musste die Pendelstütze in einem Druckrahmen eingespannt werden. In diesem musste die Pendelstütze auf Zug und Druckkraft belastet werden. Des Weiteren wurde ein Kraftmessnormal mit in den Kalibrieraufbau integriert, um die aufgebrachte Kraft zu messen.

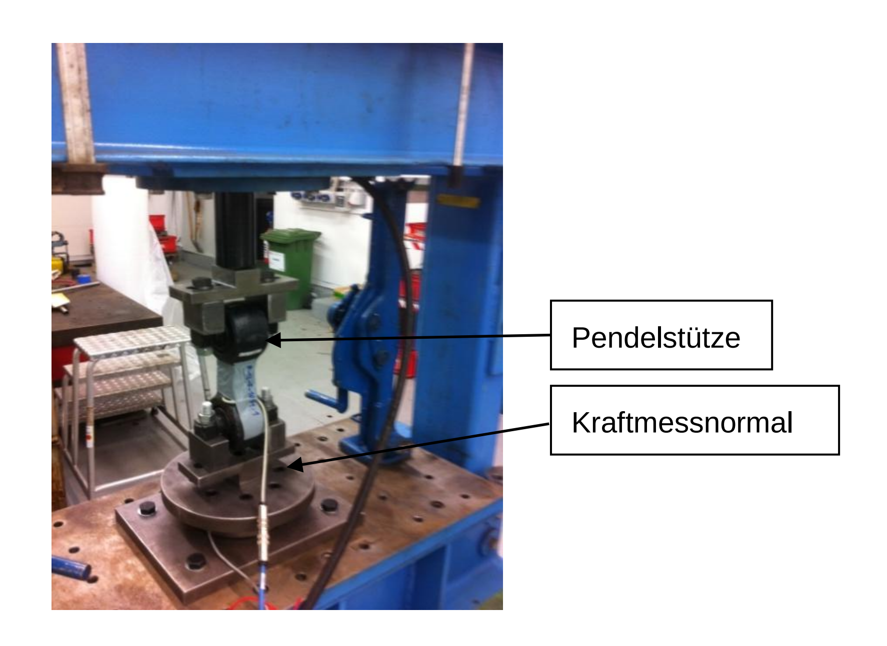


Abbildung 19 : Kalibrieraufbau

Während des Versuchsaufbaus war darauf zu achten, dass bei der Kopplung zwischen Pendelstütze und Kraftmessnormal keine unzulässigen Störkomponenten wie Biegemomente, Verspannungen oder Verformungen entstehen. Die Umgebungsbedingungen wie Temperatur, sollte während der Kalibrierung auf 1 K stabil gehalten werden und zwischen einer Temperatur von 18°C - 28°C betragen. Vor der Kalibrierung mussten alle Geräte elektrisch in Betrieb genommen werden, um diese in ein thermisches Gleichgewicht zu bringen. Die Pendelstütze wurde auf 100kN kalibriert. In Anlehnung an die DAkkS Richtlinie R3-3[12] und nach DIN EN ISO 376[13] sind üblicherweise bei der Kalibrierung mindestens 2 Aufwärtsreihen mit ≥ 3 Kraftstufen in Druck und Zug durchzuführen. Das Ergebnis der Kalibrierung wurde als XY – Diagramm dargestellt. Daraus resultierten folgende reelle Kalibrierwerte, die für die spätere Messung angewandt wurden.

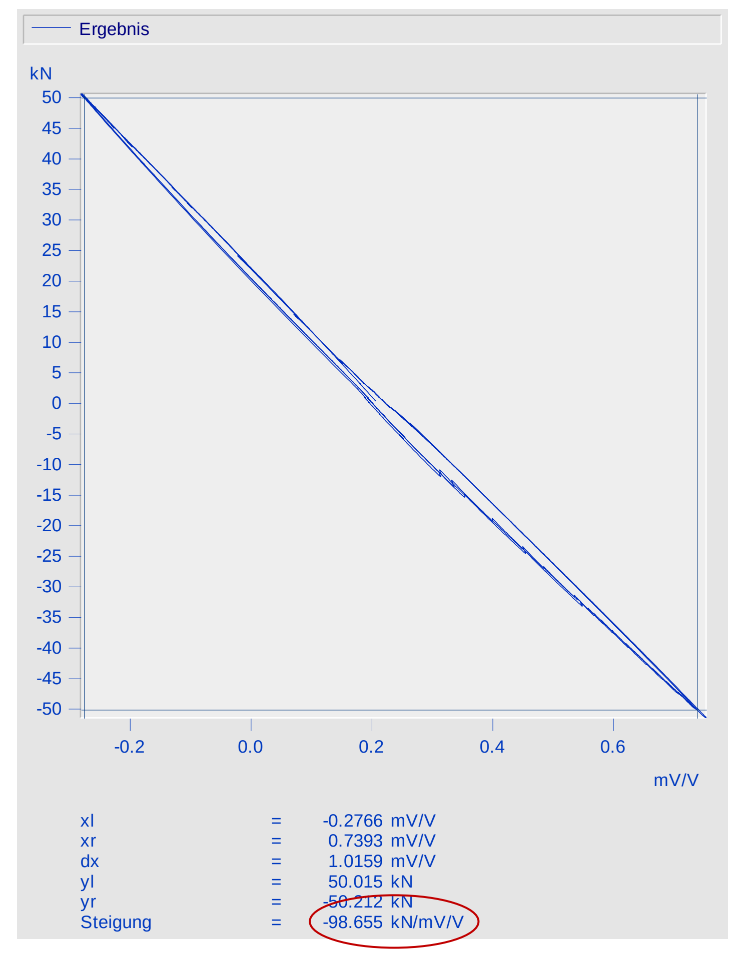


Abbildung 20 : Praktischer Kalibrierfaktor

---

[12] Kalibrierung von Kraftmessgeräten

[13] Metallische Werkstoffe - Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung (ISO 376:1999); Deutsche Fassung EN ISO 376:2002

5.1.7 Bereitstellung der Signale seitens ZF - Antriebstechnik

Die Bereitstellung des Kalibriersignal geschah in Absprach mit ZF als analoges Spannungssignal von 10V.

6 Datenakquisition

Zu diesem Kapitel gehören alle Punkte, die sich mit dem Messen der Pendelstützkräfte beschäftigt, sowie aller zusätzlichen Messsignale. Dies beinhaltet das Auswählen der entsprechenden Messverstärker, sowie das Einstellen dieser. Der wichtigste Aspekt dabei ist die Auswahl der Filtereinstellung und Abtastrate. Für die Durchführung der Messung stand der Zug eine Woche zur Verfügung. In dieser Zeit musste das Fahrzeug mit der Messtechnik ausgerüstet werden und die Pendelstütze vom Drehgestellbau eingebaut werden.

6.1 Messtechnik

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Messmittel vorgestellt. Alle Messmittel unterliegen der nachweispflichtigen Kalibrierung und werden in regelmäßigen Abständen von dem Kalibrierlabor Trescal GmbH mit Tochtersitz in Wolfsburg kalibriert. Das nachfolgende Schaltbild soll die prinzipielle Verschaltung der Messmittel schematisch darstellen.

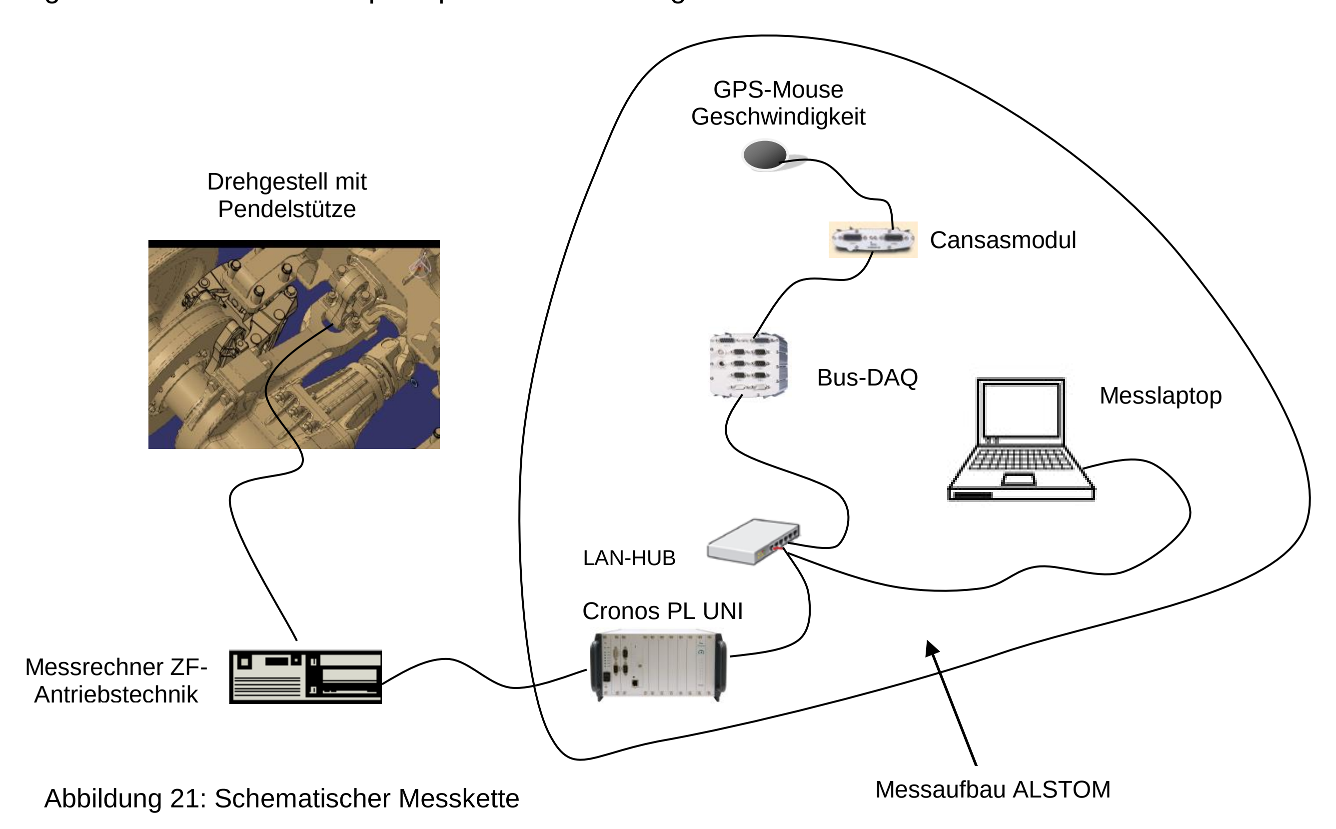


Abbildung 21: Schematischer Messkette

6.1.1 Cansasmodul

Das Cansas Modul ist ein 8-kanäliges Modul der Firma IMC – Berlin, zur isolierten Aufnahme von Spannung, Strom und Temperatur. Das CANSAS-SCI8 ist mit 8 gemultiplexten, isolierten Differenzeingängen ausgestattet. Es lassen sich Spannungen, Ströme, Pt100[14] sowie alle gängigen Thermoelemente direkt anschließen. Spezielle Maßnahmen zur Rauschunterdrückung ermöglichen trotz des Multiplexers sehr empfindliche Spannungs- und Temperaturmessungen. Dabei wirkt die Rauschunterdrückung optimal für kleine Abtastraten und nimmt mit zunehmender Abtastrate ab. Bei dieser Messung hingegen, ist das Modul ein GPS[15] auf CAN[16] Umsetzer. Das CANSER - Modul setzt die Daten der GPS-Maus auf den CAN-Bus um. In unserem Fall nutzten wir die GPS Maus und das Cansasmodul zum Empfang von GPS Signalen zur genauen räumlichen Positionsbestimmung und zur Anzeige der aktuellen Fahrgeschwindigkeit.



Abbildung 22:Cansasmodul [IMC-Man/1]

Eigenschaften

- Das Modul empfängt GPS-Signale und sendet diese mit einer fest konfigurierten Belegung auf den CAN-Bus.
- Busgeschwindigkeit 500 kBaud (Standard)

6.1.2 busDAQ

Die IMC busDAQ Familie dient der zeitsynchronen Erfassung von CAN Botschaften, speziell von Messdaten und Statusinformationen. Je nach Typ können neben dem CAN Bus auch LIN[17] und ARINC[18] Busse angeschlossen werden. Dabei werden bis zu 8 Knoten

---

[14] Pt100-Sensoren sind Temperaturfühler, die als Messeffekt die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von der Temperatur bei Platin anwenden.

[15] Global Positioning System (GPS), offiziell NAVSTAR GPS, ist ein globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung

[16] Der CAN-Bus (Controller Area Network) ist ein asynchrones, serielles Bussystem und gehört zu den Feldbussen

[17] Das Local Interconnect Network (LIN) ist die Spezifikation für ein serielles Kommunikationssystem.

[18] Kommunikationsprotokolle zwischen verschiedenen Computersystemen

und auch unterschiedliche Protokolle wie CCP[19] und KWP2000[20] unterstützt. An einem IMC busDAQ lassen sich beliebige CAN Bus Teilnehmer wie Sensoren, Messverstärker oder auch Steuergeräte anschließen. Die über CAN-Bus gesendeten Messdaten können getriggert, dargestellt und gegebenenfalls verrechnet werden. Die Protokollparameter werden über die Bediensoftware imcDevices konfiguriert und können in ihren physikalischen Einheiten gespeichert werden. In unserem Fall diente es zur Erfassung unserer GPS Signale die vom CANSAS Modul als CAN Botschaften zum Bus DAQ gesendet wurden.



Abbildung 23: IMC busDAQ [IMC-Man/2]

6.1.3 Cronos PL 8

Das IMC - CRONOS-PL-8 bietet 8 Steckplätze für Messverstärker bzw. Messmodule und kann dadurch maximal auf bis zu 64 analoge Messkanäle ausgebaut werden. In diesem Fall ist das Messgerät mit 4 UNI 2-8 Messkarten ausgestattet und kann somit für 32 aktive Kanäle verwendet werden, die es ermöglichen, eine Vielzahl von physikalischen Größen zu erfassen. Dazu gehören Spannungsmessungen, Strommessungen und Widerstandsmessungen (PT100) und beliebige Thermoelemente und DMS in allen Brückenkonfigurationen. In diesem Fall setzten wurde es zur Spannungsmessung eingesetzt, um die von ZF – Antriebstechnik zur Verfügung gestellten DMS Signale aufzuzeichnen. Die Speicherung der Messdaten kann im CRONOS-PL-8 entweder auf einer internen IDE-Festplatte, oder einer Wechselfestplatte erfolgen. Die Datenübertragung zum PC und die Konfiguration des Messystems geschehen über das Ethernet. Gleichzeitig kann das CRONOS-PL-8 mit einem analogen Modem ausgerüstet werden, um eine Datenübertragung oder Fernwartung beispielsweise über GPRS zu ermöglichen.

---

[19] Das CAN Calibration Protocol (CCP) ist ein auf CAN basierendes Netzwerkprotokoll

[20] KWP2000, eine Abkürzung für Key-Word-Protokoll 2000, ist ein verbreitetes Protokoll für Automobilelektronik



Abbildung 24: Cronos PL8 [IMC/1]

6.1.4 Messsoftware und Einstellungen

Durch die Betriebssoftware IMC – Devices sind die Geräte intuitiv und sicher bedienbar. Alle verwendeten Geräte lassen sich mit dieser Software steuern. Eine der einflussreichsten Einstellungen die vorgenommen werden musste, ist die des Filters gewesen. In den meisten Fällen wird hier ein Tiefpassfilter mit der Funktion als Antialiasingfilter genutzt. Das hat den Grund, dass der originale Antialiasingfilter der Software nach der bekannten Formel:

$$f_A = \frac{1}{T_A} \geq 2f_g$$

f_A=Abtastfrequenz, T_A= Abtastzeit, f_g=Grenzfrequenz;

arbeitet. Erfahrungen haben gezeigt, dass die halbe Abtastrate als Minimum für das Antialiasingfilter nicht ausreicht. Das Tiefpassfilter der Software ist ein Butterworthfilter 6-ter Ordnung. Die Höhe der Filterordnung beeinflusst maßgeblich die Steilheit der Filterflanke. Eine steile Filterflanke ist immer gewünscht, da sie ungewünschte Frequenzen oberhalb der Filterfrequenz stark dämpft. Andererseits haben Filter mit hoher Ordnung den Nachteil, dass sie das Signal nahe der Filterfrequenz zum Überschwingen bringen. Unter Rücksichtnahme auf die endliche Steigung des Tiefpassfilters, hat man sich in der Prüfstelle im Regelfall darauf geeinigt, die Filterfrequenz auf ein Fünftel der Abtastrate zu setzen. Auf diese Weise kann ein Aliasing sicher ausgeschlossen werden. Da sich nach einigen Gesprächen mit den Experten von ZF - Antriebstechnik herauskristallisiert hat, dass für diesen Versuch eine Nutzfrequenz von 2000Hz und eine Abtastrate von 5000Hz von Bedeutung war, übernahm man diese Einstellungen ebenfalls.

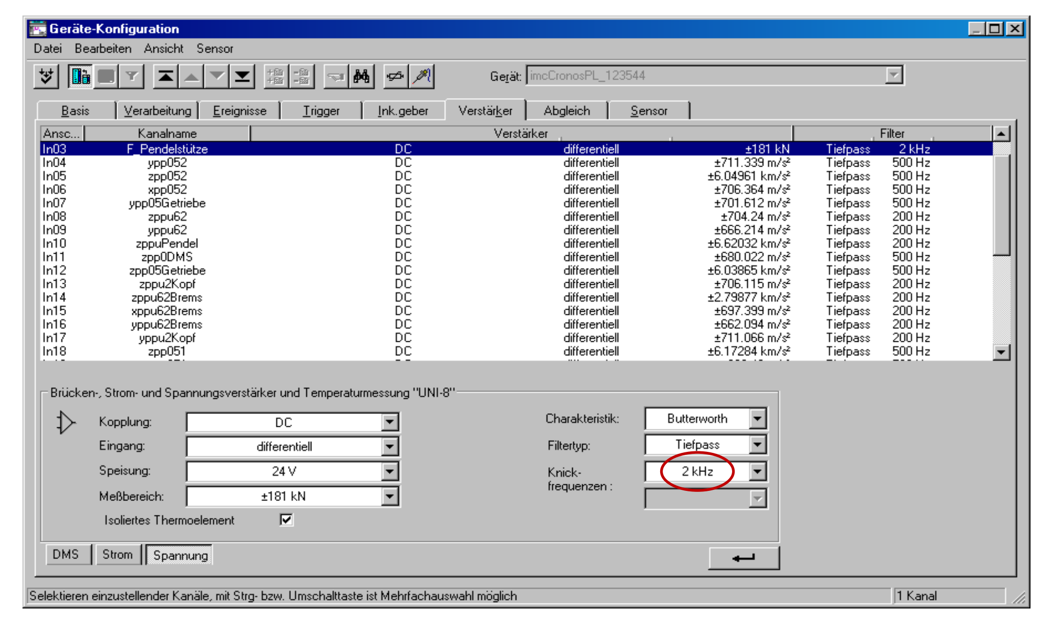


Abbildung 25: Tiefpassfilterfrequenz = Nutzfrequenz

Die Abtastfrequenz wird über die Abtastzeit, also die Länge eines Samples definiert. Diese ergibt sich aus dem Kehrwert der Abtastfrequenz.

$$T_A = \frac{1}{f_A}$$

T_A= Abtastzeit; f_A=Abtastfrequenz;

Aus diesem Grund ergab sich eine Abtastzeit von 200µs. Des Weiteren musste der Kalibrierwert von 98,655kN/mv/V eingestellt werden.

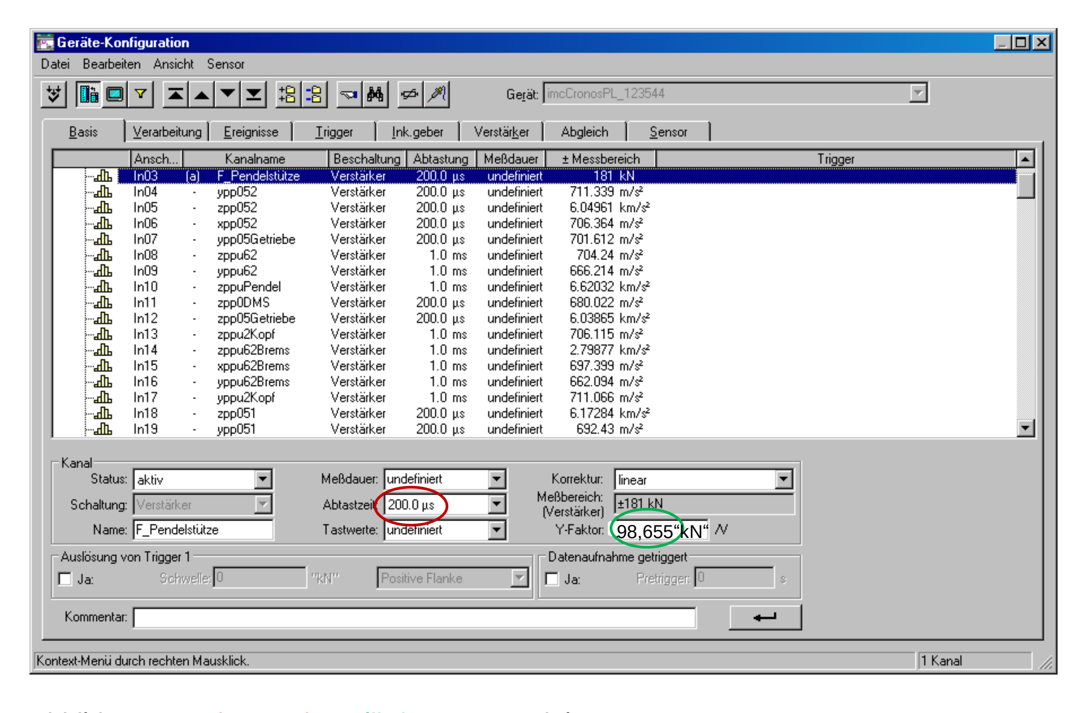


Abbildung 26: Abtastzeit, Kalibrierwert Pendelstütze

Für die Bereitstellung sämtlicher GPS Daten gab es eine vorkonfektionierte Einstellungsdatei vom Hersteller IMC, die mit Hilfe des Can Assistenten sehr komfortabel in die IMC – Devices Software geladen werden konnte. Diese Einstellungen beinhalten die Grundeinstellungen des CAN Knoten. Zu diesen gehören die Namensvergabe, sowie die maximale Übertragungsgeschwindigkeit von 500kbits/s sowie die Anschlußart High oder Lowspeed.

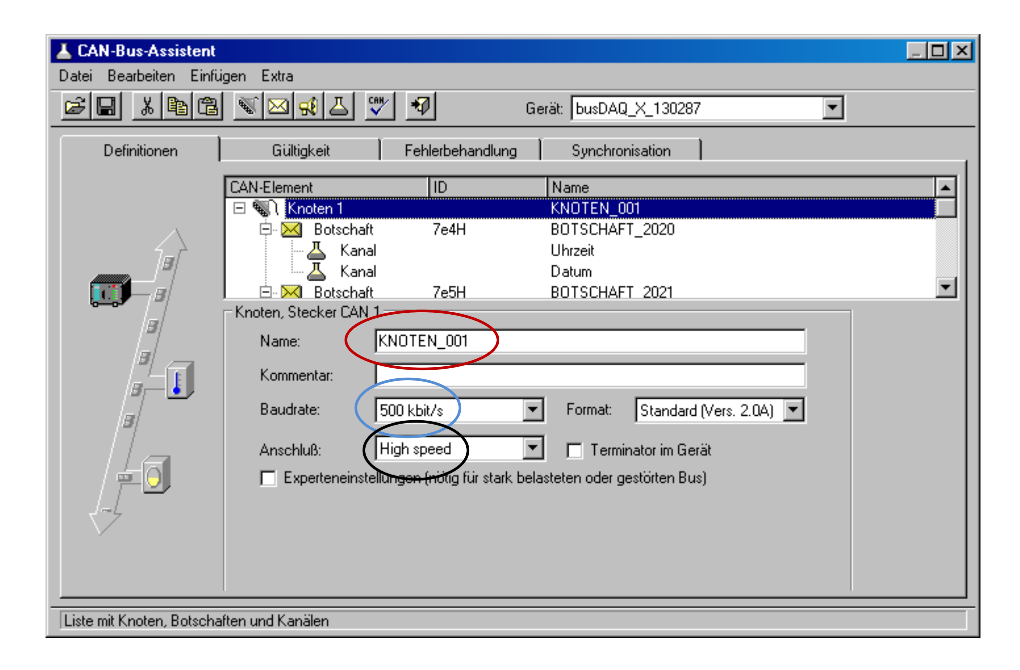


Abbildung 27: CAN Grundeinstellungen(Namen, Übertragungsrate, Anschlußart)

Des Weiteren wurden mit der Einstellungsdatei den Einzelnen Kanälen die ID´s zugewiesen. Zu diesen gehörten die Zuweisung für:

ID2020

- Uhrzeit
- Datum

ID2021

- Längengrad
- Breitengrad

ID2022

- Geschwindigkeit
- Richtung

ID2023

- Höhe
- Satelietenzahl
- Gültigkeit

Die Taktzeit für die einzelnen Kanäle beläuft sich hierbei auf 100ms, sprich 10Hz pro Kanal und einer Datengröße von 8 Byte

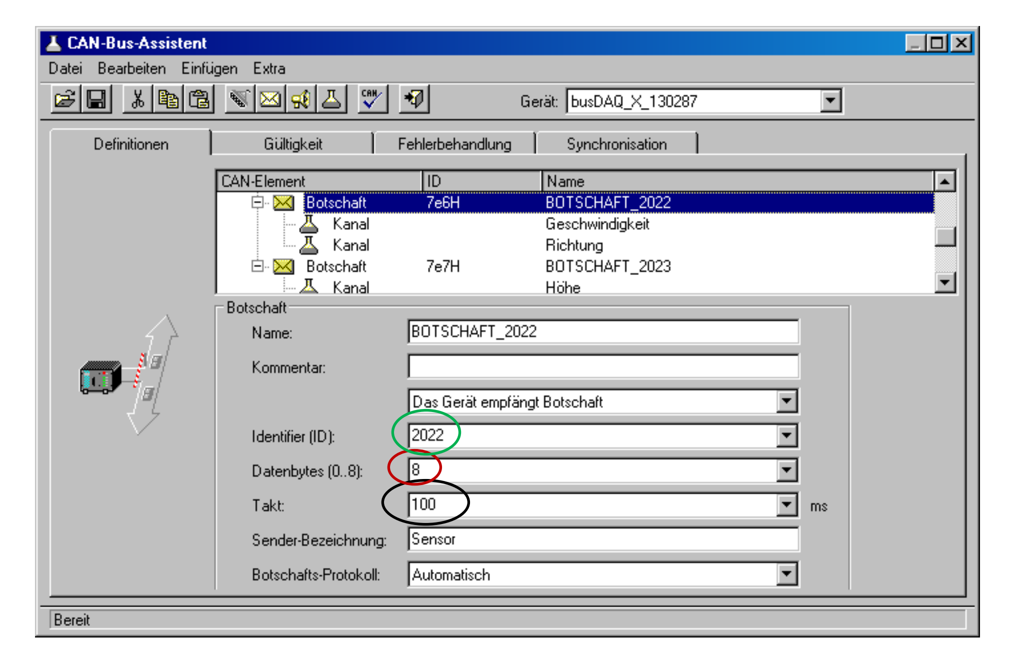


Abbildung 28: Kanaleinstellungen (Datengröße, Kanaltaktung, ID)

Der wichtigste GPS Kanal war allerdings die Geschwindigkeit. Da diese in Knoten angegeben wurde und die Darstellung des Kanals in km/h sein sollte, musste der Kanal virtuell erzeugt werden. Dazu gibt es in der IMC – Devices Software eine Funktion namens Online Famos, die es ermöglicht eine Sequenz zu erzeugen, die dauerhaft bei der Messung abgearbeitet wird. Dazu musste der Geschwindigkeitskanal in Knoten mit dem Umrechnungsfaktor 1Knoten = 1,852km/h multipliziert werden.

6.2 Streckenauswahl

Die Streckenauswahl für die Versuchsfahrten war von großer Bedeutung, da im Anschluss ein aussagekräftiges Lastkollektiv für die Auswertung der Daten herauskommen sollte. Dies ist notwendig, um eine repräsentative Rainflowauswertung vorzunehmen, ohne im Anschluss eine Extrapolation der Daten vornehmen zu müssen. Wie schon in den Basics erwähnt, ist eine Extrapolation der Daten nicht wünschenswert, da dies nur eine statistische Methode ist, um das Streckennetz zu repräsentieren. Diese Art der Auswertung führt oftmals nicht zu dem gewünschten Erfolg. Aus diesem Grund hat man sich mit streckenkundigen Experten getroffen und einen repräsentativen Fahrplan für die Versuchsfahrten erarbeitet. Wichtig ist dabei ebenfalls gewesen, Streckenabschnitte herauszusuchen, die ein relativ hohes Moment von dem Getriebe abfordern. Für diese Zwecke wurde eine Steilstrecke von ca. 60‰ Steigung erarbeitet. Da der LINT nur für eine maximale Steigung von 40‰ zugelassen ist, galt es zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Es sollte bei jedem Stopp auf der Strecke die Bremsscheibentemperatur anhand eines Infrarotthermometers ermittelt werden, um festzustellen ob sich die Bremsscheiben-

temperatur noch in den Spezifikationsgrenzen bewegt. Folgendes Streckenprofil wurde für die Versuchsfahrten erarbeitet.

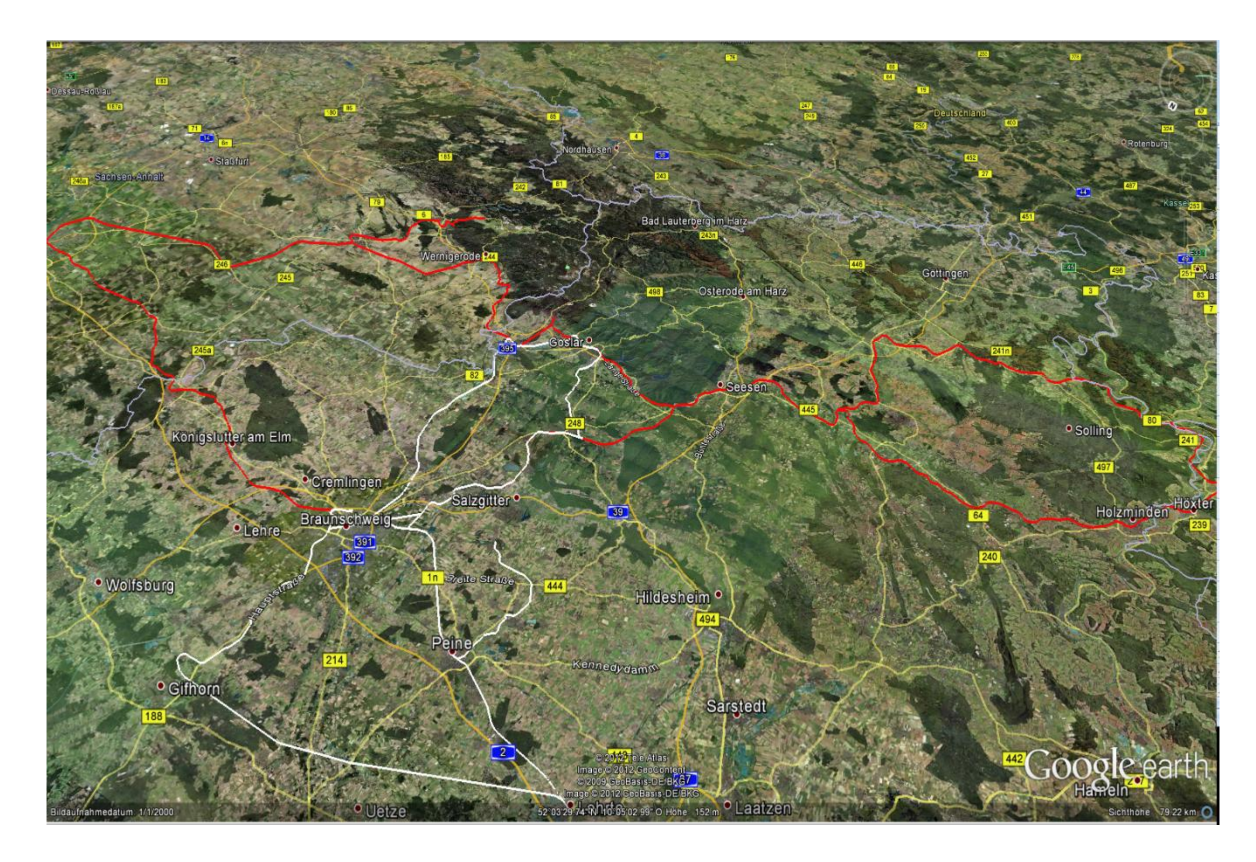


Abbildung 29: erarbeitetes und gefahrenes GPS - Streckenprofil.

In der Abb. 29 ist der rote Streckenverlauf der erste Versuchstag und der weiße Streckenverlauf der zweite Versuchstag. In Summe macht das eine Gesamtstrecke von ca. 1000km, die die verschiedensten Beanspruchungen von dem Getriebe abfordern, um das gewünschte Lastkollektiv zu erzielen. Der Streckenverlauf ist folgendermaßen geplant:

Start – Ende Tag 1:

Salzgitter Bad -> Ringelheim -> Neuenkruhausen -> Seesen -> Kreiensen -> Northeim -> Hardegsen -> Bodenfelde -> Bad Talshafen ->Lauenförde – Beverungen -> Oldendorf -> Bad Harzburg -> Vienenburg -> Blankenburg -> Hüttenrode -> Blankenburg -> Braunschweig;

Start –Ende Tag 2:

Braunschweig -> Peine -> Ilsede -> groß Gleidingen -> Goslar -> Oker -> Vienenburg -> Schladen -> Braunschweig -> Gliesmarode -> Rödgesbüttel -> Dollbergen -> Lehrte -> Üfingen -> ALSTOM;

6.3 Versuchsaufbau und Durchführung

Für die Versuchsvorbereitung wurde die Produktionshalle A80, die sich ganz im Norden des Firmengeländes befindet, für die Aufrüstzeit bereitgestellt. Die Halle A80 eignete sich für die Aufrüstung des Fahrzeuges besonders gut, da über die gesamte Fahrzeuglänge eine Grube vorhanden war. Dies war maßgeblich entscheidend für die Wahl der Halle, da sonst die kalibrierte Pendelstütze von den Mitarbeitern aus dem Drehgestellbau nicht eingebaut werden konnte und die Mitarbeiter von der ZF – Antriebstechnik die Pendelstütze nicht ordnungsgemäß anschließen konnten. Des Weiteren waren diverse Arbeitsbühnen vorhanden, die benötigt wurden, um die GPS Mouse am Dach zu montieren. Dies musste gewährleistet sein, um Störungen durch Bäume oder Sträucher am Gleisbett der Versuchstrecke möglichst gering zu halten. Die Installation und Kabelverlegung der Sensoren am Fahrzeug musste mit äußerster Sorgfalt erledigt werden, da das Fahrzeug bereits durch den Kunden abgenommen ist, und somit keine sichtbaren Rückstände der Messung zu sehen sein durften. Aus diesem Grund musste ein Spezialklebeband verwendet werden, welches den fertigen Lackaufbau beim Lösen des Klebebandes beim späteren Abrüsten des Fahrzeugs nicht gefährdete. Bei der Kabelverlegung vom Drehgestell zum Wagenkasten musste bei der Kabelführung darauf geachtet werden, dass eine ausreichend große Schlaufe gelegt wurde und der Übergang möglichst in der Mitte des Drehgestells geschah, da hier der Ausdrehwinkel bei engen Bogenfahrten während des Rangierbetriebes auf dem Firmengelände am kleinsten ist und somit ein Abreißen der Kabel vermieden wird. Für die Kabelführung in den Innenraum des Fahrzeugs entschied man sich für den Weg durch die seitlichen Klappfenster. Dieser Weg erschien sinnvoll, da das Klappfenster sich in unmittelbarer Nähe des instrumentierten Triebdrehgestells befand und dies der kürzeste Weg der Kabelführung gewesen ist. Eine weitere Möglichkeit wäre der Weg durch die Fahrgasttüren gewesen. Es wurde sich aber dagegen entschieden, da dies immer ein Problem mit dem ordnungsgemäßen schließen der Tür darstellt. Im Innenraum des Fahrzeugs wurde für den Aufbau der Messsysteme, der Bereich in der ersten Klasse gewählt, da hier genügend Platz vorhanden war. Die Messsysteme wurden unter den Sitzen platziert und in einer geeigneten Weise gegen verrutschen während der Fahrt gesichert. Die Verlegung der Sensorenkabel im Fahrgastinnenraum musste so gewählt werden, dass es in keiner Art und Weise zu Stolperfallen kommen kann. Aus diesem Grund wurden die Kabel auch hier mit dem Spezialklebeband am Boden und Haltestangen befestigt.



Abbildung 30: Installation GPS – Mouse

Abb. 30 zeigt die installierte GPS - Mouse am Dach unter Verwendung des Spezialklebebandes.



Abbildung 31: Kabelführung am Fahrzeug

Abb. 31 zeigt die Kabelführung und den Übergang vom Drehgestell zum Wagenkasten am Fahrzeug. Nachdem das Fahrzeug wie beschrieben für den Versuch vorbereitet gewesen ist, konnten die Versuchsfahrten wie in Kapitel 6.2 beschrieben durchgeführt werden. Bei den Fahrten galt es eine aussagekräftige Versuchsdokumentation über die gesamte Messdauer zu führen, um bei der Datenauswertung auf möglicherweise unerklärbare Vorkommnisse im Signal Rückschlüsse ziehen zu können. Diese können bei Bahnhofsdurchfahrten, Brückenfahrten, Gleiswechsel, oder ähnlichen Ereignissen vorkommen. Außerdem mussten die Witterungsverhältnisse dokumentiert werden.

7 Entwicklung Auswertesequenz in Famos

Kapitel 7 befasst sich mit der gesamten Entstehung der Rainflow Auswertesequenz in Famos. Es wird Schritt für Schritt die Entstehung der Auswertesequenz vorgestellt. Von der ersten Generierung eines Testdatensatzes, bis zur fertigen Auswertesequenz. Dies beinhaltet unter anderem die Vorbereitung der Startsequenz, bis hin zu den verschiedenen Untersequenzen, ihre Arbeitsweise und verwendete Filter. Des Weiteren werden im Anschluss der fertige Programmablaufplan, sowie die Bedienungsanleitung vorgestellt. Der Quellcode der Softwaregenerierung wird Bestandteil dieser Dokumentation sein und sich im Anhang befinden.

7.1 Die Famos Auswertesoftware

FAMOS (**F**ast **A**nalysis and **M**onitoring **of** **S**ignals) ist ein Programm zum Analysieren und Beurteilen von Messergebnissen. In seinem Funktionsumfang ist es auf die Bedürfnisse der Mess- und Prüffeldtechnik zugeschnitten. Mit FAMOS können große Datensätze schnell und effizient bearbeiten und beliebige Berechnungsabläufe in mathematischer Schreibweise erzeugt werden. Es werden Möglichkeiten geboten, Datensätze in grafischer sowie tabellarischer Form zum Ausdruck zu bringen. Famos bearbeitet nur Messdaten, die auch aus den IMC - Berlin - Geräten stammen. Famos wurde ausschließlich für die Offlineauswertung von Messdaten konzipiert. Da die Befehle für die Rainflowauswertung leider nicht zum Standardpacket dazu gehörten, musste dieses Kit separat gekauft und installiert werden. Das Applikationsfenster von Famos teil sich in die vier Hauptbereiche:

- Datensätze
- Mathematische Befehle
- Eingabefenster
- Ausgabefenster auf.

Wobei die Programmierung lediglich im Eingabefenster stattfindet.

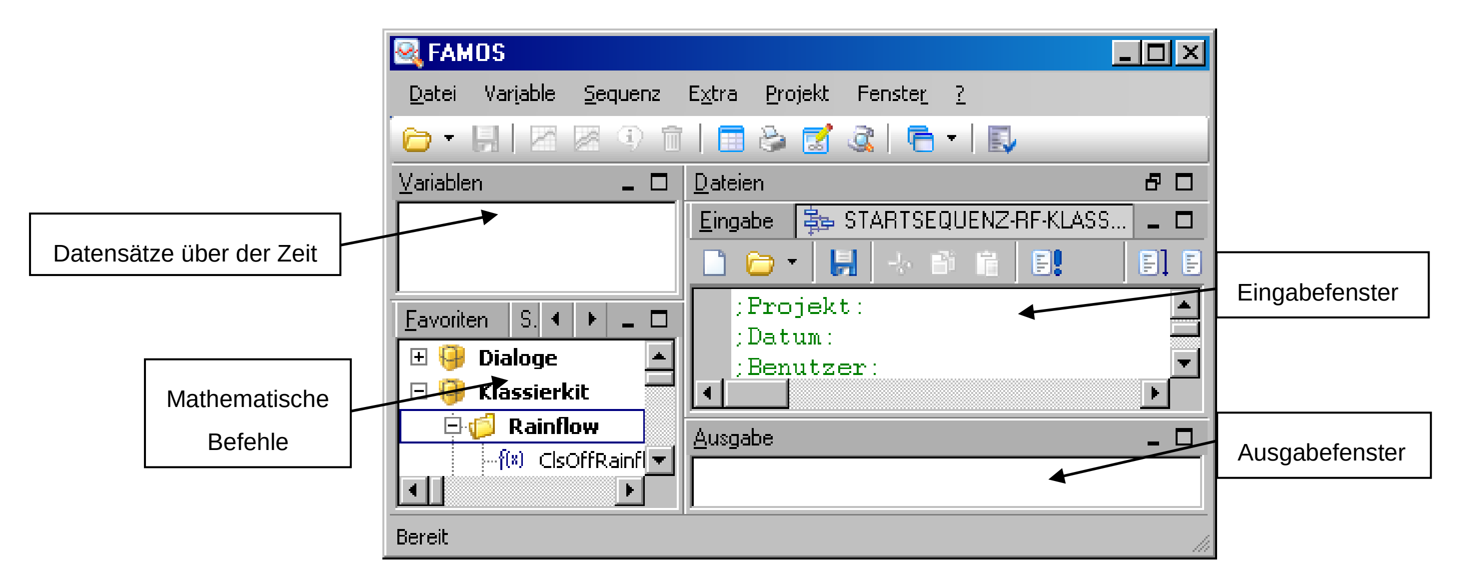


Abbildung 32: Famos Auswertesoftware

7.2 Entstehung Auswertesequenz

Dieser Punkt befasst sich mit der Generierung der Sequenzen und deren Arbeitsweise.
Als erstes wurde sich Gedanke über den Ablauf der Startsequenz gemacht. Man entschied sich dafür, alle wichtigen Parameter die zur Klassierung der Messsignale beitragen, in Form eines Vorlageblattes „Startsequenz“ auszuführen. Dieses Vorlageblatt „Startsequenz“ sollte, nach dem Öffnen von Famos einmalig geladen und alle erforderliche Parameter unter Verwendung einer Bedienungsanleitung dort eingetragen werden. Zur weiteren Hilfe galt es, jeden Parameter ausführlich zu kommentieren. Dies sollte den Umgang mit der Sequenz vereinfachen, da eine tägliche Verwendung nicht in Aussicht stand und man möglicherweise nach mehreren Monaten den Überblick verlieren könnte. Nach Ausführen des Vorlageblattes „Startsequenz“ sollte die Abarbeitung der Daten für den Bediener unauffällig im Hintergrund ablaufen. Aus diesem Grund entschied man sich, die weitere Abarbeitung in verschiedene Untersequenzen aufzuteilen. Zur besseren Übersicht während der Programmierung teilte man die Untersequenzen in Funktionen ein. Somit erhielt jede einzelne Funktion eine separate Untersequenz. Dies sollte auch die spätere Validierung der Software vereinfachen. Zum Zweck der Validierung musste ein Testdatensatz erzeugt werden, der es ermöglichte, die Sequenz in ihrer Entstehung immer wieder mit dem Testdatensatz zu überprüfen. Nach einigen Überlegungen kam man darauf, einen Datensatz aus einer alten Messung zu nehmen, in dem alle wichtigen Parameter bekannt waren. Abschließend galt es, sich Gedanken über die Ausgabe der Ergebnisse zu machen. Die Entscheidung viel lediglich darauf, die Ausgabe der Rainflow Ergebnisse zum Ausdruck zu bringen. Alle anderen Parameter wie Berechnungen, erzeugte Variablen oder Hilfsvariablen, sollten in der Ergebnisliste nicht erscheinen und waren zu löschen.

7.2.1 Programmablaufplan

Der Programmablaufplan soll einen Überblick darüber verschaffen, wie die sequentielle Abarbeitung der Auswertesequenz gegliedert wurde.

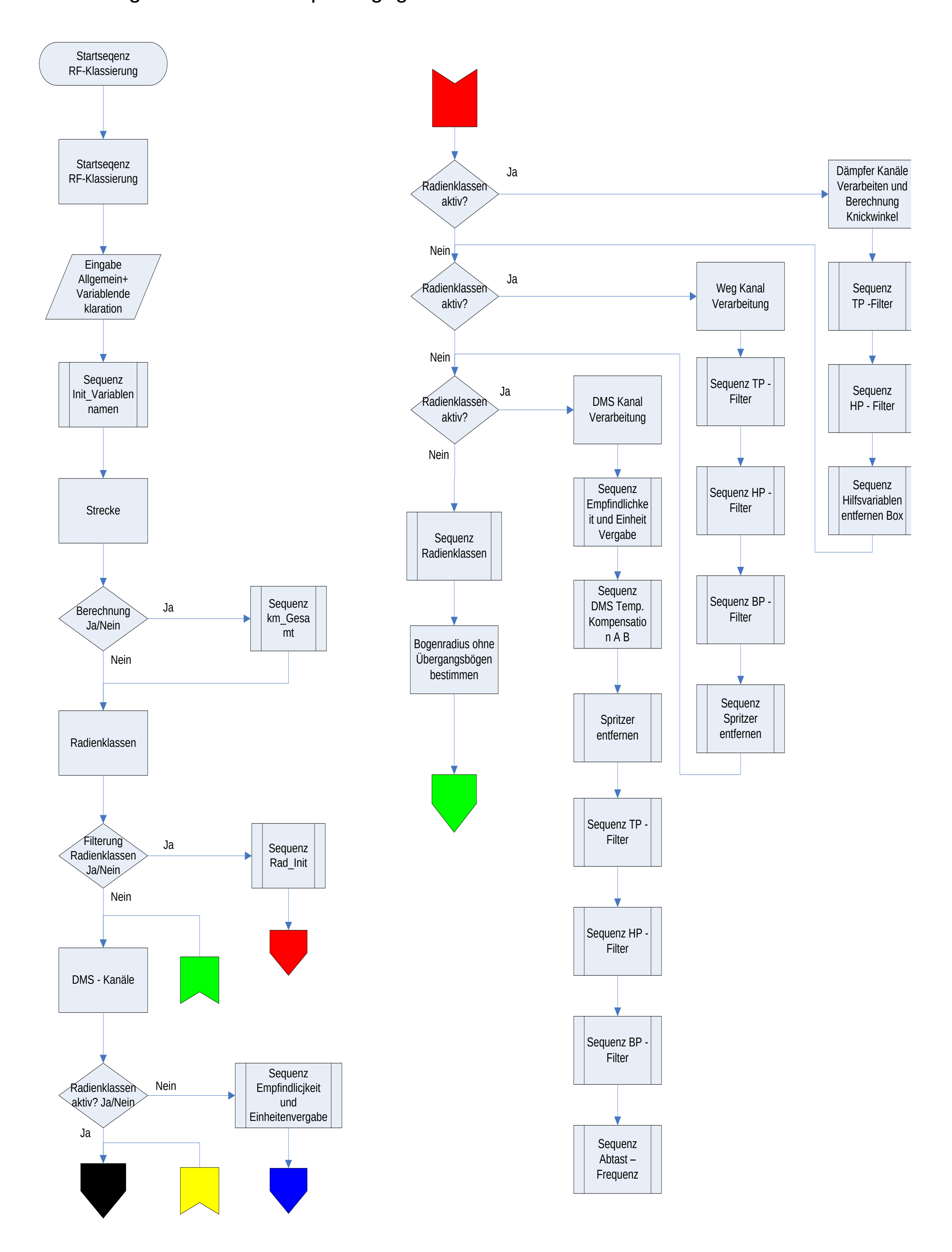


Abbildung 33: Programmablaufplan Auswertesequenz

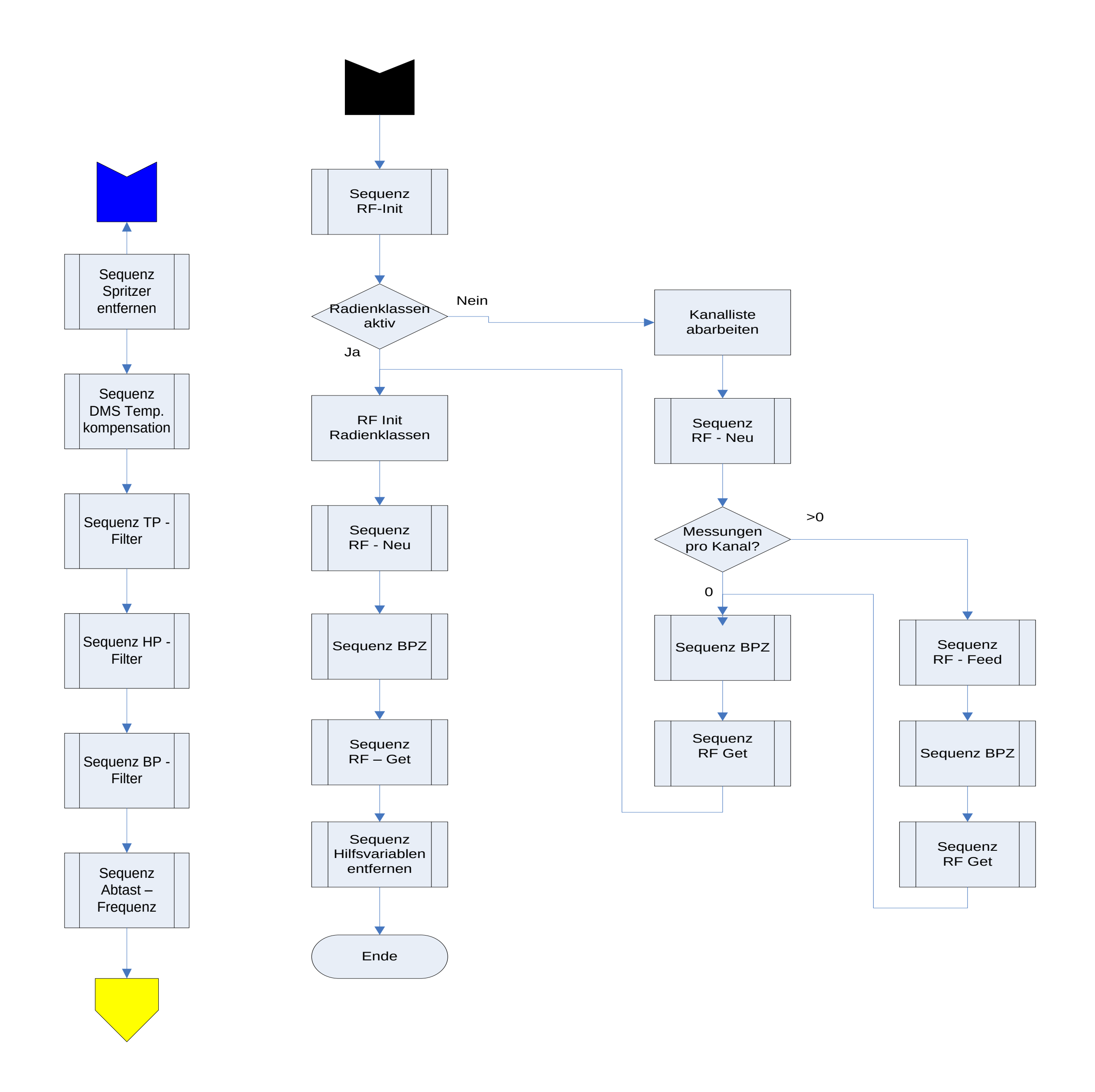


Abbildung 34: Programmablaufplan Auswertesequenz

7.2.2 Startsequenz

Zu Beginn musste ein Header erzeugt werden, in dem die wichsten Informationen wie Benutzer, Abteilung, Projekt und Softwareversion einzutragen sind. Als nächsten Schritt galt es, die Abfrage der allgemeinen Parameter zu realisieren. Diese wurden in Blöcke angelegt, um einen schnellen Überblick der zusammengehörenden Variablen zu bekommen. Im ersten Block war die Lebensdauerberechnung zu realisieren. Zu diesem gehörten folgende Variablen

- Extrapolation
- Lebensdauer
- Kilometer pro Jahr
- Gesamtstrecke manuell

Die variable Extrapolation wurde so ausgelegt, dass diese mit einer „0“ oder „1“ deklariert werden konnte. Wobei die „0“ maßgeblich bedeutend für Funktion deaktiviert und „1“ für Funktion aktiviert steht. Die Lebensdauer musste so realisiert werden, dass man hier die Jahre des Betriebseinsatzes eintragen konnte. Des Weiteren musste für die Berechnung eine Variable für die zurückgelegten Jahreskilometer erstellt werden. Hier galt es, diese so auszulegen, dass direkt die gefahrenen Jahreskilometer eingetragen werden konnten. Als letzten Punkt musste eine variable Gesamtstrecke erzeugt werden. Die Gesamtstrecke wurde so realisiert, dass entweder die Strecke manuell eingegeben werden kann, oder wenn ein Geschwindigkeitssensor bei den Messungen verwendet wurde, die Variable mit einer „0“ zu deklarieren ist. Die „0“ ist in diesem Fall gleichbedeutend dafür, dass keine manuelle Eingabe der Gesamtstrecke notwendig ist. Die Gesamtstrecke wir automatisch über die Geschwindigkeit bestimmt. Zur Berechnung dieser wird in der entsprechenden Untersequenz explizit eingegangen.

Eingabe | STARTSEQUENZ-RF-KLASSIERUNG* | RF_Get | RF_Feed | RF_Neu

```
;**********************************************************
;**********************************************************

;Paramter Allgemein

Extrapolation = 0          ;1->AN, 0->AUS
Lebensdauer =  0           ;[Jahre]
Kilometer_pro_Jahr = 0     ;[km]
Gesamtstrecke_manuell = 0  ;[km] 0 -> Off, sonst manuelle Eingabe falls kein vkmh vorhanden!
```

Abbildung 35: Variablen Lebensdauerberechnung

Im nächsten Block ist es notwendig, die grundlegenden Parameter für die Rainflowauswertung als Variablen zu implementieren. Diese waren:

- Axis
- Type
- Border
- CalcOptions
- Residuum
- IgnoreSmallSpans
- Precise
- CountStartEnd

Dieser Block war ebenfalls so umzusetzen, dass die Variablen mit einer „0“ oder „1“ frei deklarierbar sind. Wobei die Bezifferung nicht gleichbedeutend mit aktiviert oder deaktiviert, wie im vorigen Block, sein sollte. Für **Axis** gilt, dass mit der „0“ entlang der X Achse die Zielklasse oder Amplitude aufgetragen werden. Mit der „1“ wäre das genau der entgegengesetzte Fall. Entlang der X Achse ist die Startklasse oder der Mittelwert aufgetragen. Mit **Type** ist der eigentliche Zählalgorithmus umzusetzen. Mit der „0“ soll die Rainflowauswertung über die Extremwerte des Signals ausgeführt werden, wobei hingegen mit der „1“ eine Auswertung der Signale über dessen Mittelwert erfolgen sollte. Die Variable **Border** bearbeitet die Randklassen bei der Auswertung. Bei einer „0“ werden die Randklassen geschlossen. Dies bedeutet, dass Extremwerte außerhalb der Klassen nicht mit in die Matrix gezählt werden. Mit einer „1“ sind die Randklassen geöffnet. Die Extremwerte außerhalb der Klassengrenzen werden in diesem Fall mit berücksichtigt. Die Variable **CalcOptions** bestimmt den Berechnungsalgorithmus der Auswertung, hier kann wiederum die „0“ für den Standard – Vierpunkt - Algorithmus, oder eine „1“ für eine Auswertung nach Chlorman und Seeger erfolgen. Als nächster Punkt, musste eine freie Handhabung des **Residuums** realisiert werden. Dies ist der einzige Punkt in diesem Block, der nicht nur mit einer „1“ oder „0“ deklariert werden kann, sondern auch mit „0,5“. Dies ermöglichte es, mit der „0“ das Residuum zu löschen. Mit der „0,5“ werden alle Schwingspiele im Signal als halbe Schwingspiele betrachtet und mit der „1“ wird jede Schwingung voll gezählt. Alle nichtvollendeten Schwingspiele werden somit künstlich geschlossen. Dies wäre die worst - case - Annahme. Die Variable **IgnoreSmallSpans** musste realisiert werden, um die Bearbeitung kleiner Spannen innerhalb einer Klasse zu berücksichtigen. Mit einer „0“ werden alle kleinen Spannen gezählt und mit einer „1“ ignoriert. Mit **Precise** werden kleine Spannen wenn ja = „1“, präzise gezählt und anschließend in Klassen eingeteilt, oder wenn nein = „0“, die Extremwerte erst in Klassen eingeteilt und dann bei der Amplituden/Mittelwertbildung die Amplitude bzw. Spanne als Differenz bestimmt. Die Variable **CountStartEnd** soll die Randwerte der Zeitdaten beachten.

Mit der „0“ erfolgt hier die Standard Abarbeitung. In diesem Fall werden die Randdaten der Zeitwerte nicht weiter beachtet. Mit der „1“ werden diese mit aufgenommen

```
;-----
_Axis = 1                   ;0 row is dest class or Amplitude, 1 row is start class or mean
_Type = 1                   ;0 start and destination class, 1 amplitude and mean. Tip: Siehe RF_Get -> Verfahren und setzoff (_Min)
_Border = 1                 ;Randklasse: 0 closed, 1 open
_CalcOptions = 0            ;0 base algorithm, 1 Chlormann Seeger correction
_Residuum = 1               ;0 kein Schwingspiel, 0.5 halbes SS , 1 als ganzes SS
_IgnoreSmallSpans = 1       ;1 kleine Spannen ignorieren, 0 zählen
_Precise =  1               ;1 Spannen präzise berechnen, 0 kompatibel
_CountStartEnd = 0          ;1 Start- und Endwert als Extremwert zählen. 0 nicht
```

Abbildung 36: Variablen Allgemeine RF-Parameter

Nachdem nun die grundlegenden Einstellungen realisiert waren, galt es sich Gedanken über den Block der Variablen für die Rainflow-Auswertung der vier Bogenradienklassen zu machen. Man entschied sich dafür, folgende Einstellungsmöglichkeiten zu realisieren:

- Radienklassen
- Radienklassen abhängig von der Zeit
- Radienklassen abhängig vom Weg
- Auto Offset Entfernung
- TP-Filter
- Berechnungsvariablen
- Variable Einstellung der Klassengrenzen.

Bei den ersten vier Variablen wurde die Deklaration ebenfalls so ausgeführt, dass die Funktion mit „0“ oder „1“ aktiviert oder deaktiviert werden kann. Mit **Radienklassen** lässt sich ganz allgemein die Rain-Flow-Auswertung der Radienklassen aktivieren oder deaktivieren. Hier kam die Überlegung auf, die Berechnung flexibel zu gestalten. Die Umsetzung sollte so realisiert werden, dass die Möglichkeit gegeben war, die **Radienklassen vom Weg** oder der **Zeit** berechnen zu lassen. Auf den Hintergrund dieser Möglichkeit der Auswertung wird in der zugehörigen Funktion später explizit eingegangen. Die automatische **Offset - Entfernung** wurde implementiert, um vom Wegkanal eine Nullpunktverschiebung zu entfernen. **Das TP- Filter** sollte eine Filterung des Wegkanals ermöglichen. Dieses wurde so ausgeführt, dass es mit einer „0“ deaktiviert bleibt und wenn es benutzt werden möchte, einfach die Filterfrequenz in Hz eingetragen werden kann. Die Filtercharakteristik ist standardmäßig auf Butterworth eingestellt. Die Filterordnung hingegen wurde als frei wählbar umgesetzt. Bei den **Berechnungsvariablen** gibt es vier wichtige Parameter, die implementiert werden mussten. Zu diesen gehörte unter anderem der Kanalname des Dämpfer Weges. Da es keine standardisierte Vorgabe für eine Namensgebung für Kanäle bei einer Messung gibt, musste eine Variable geschaffen werden die es ermög-

licht den Namen direkt in die Startsequenz einzugeben. Des Weiteren mussten zur Bestimmung des Bogenradius der Drehzapfenabstand sowie die halbe Querbasis der Zwischenwagendäpfer so umgesetzt werden, dass auch hier die Werte direkt in Meter in die Startsequenz eingetragen werden können. Als letzten Punk für diesen Block, sollten die Klassengrenzen der vier Bogenradienklassen so ausgelegt werden, dass diese nicht nur nach den fest vorgegebenen Werten 250m-400m, 400m-600m, 600m-800m und über 1000m Bogenradius filterbar sind, sondern alle frei wählbar sein sollten. Die Umsetzung wurde in diesem Fall so realisiert, dass es für jede Klassengrenze den Standardwert in Metern gibt, dieser aber jederzeit angepasst werden kann und die Berechnung dann mit den eingetragenen Werten abgearbeitet wird.

```
Eingabe | STARTSEQUENZ-RF-KLASSIERUNG* | RF_Get | RF_Feed | RF_Neu

;------------------------------------------------------------------------------------------
;------------------------------------------------------------------------------------------

;Parameter - Bogenradius bestimmt aus (s) Zwischenwagendämpfer!

;Filterung nach Radienklassen

Radienklassen = 0               ;(0=OFF/1=ON) automatische Erstellung aller 4 Radienklassen

Radienklassen_abhängig_von_der_Zeit = 0 ; Berechnung der Radienklassen wird über der Zeit ausgeführt
Radienklassen_abhängig_vom_Weg = 0      ; Berechnung der Radienklassen wird über dem Weg ausgeführt

Auto_Offset_Entfernung= 0               ; automatische Offset Entfernung vom Weg

;TP-Filter
s_TP_Filter_Freq = 0.5          ;[Hz], 0->Off,  Tiefpassfilterung
s_TP_Filter_Charakteristik =0   ;Standardwert = 0 -> Butterworth Filter
s_TP_Filter_Ordnung = 1         ;Filterordnung, Standardwert = 4

Kanalname_aq= "aq"
Kanalname_Dämpfer= "s_Dämpfer"
Drehzapfenabstand= 16.5         ; [m]
Zwischenwagendämpfer= 1.375     ;Querbasis Zwischenwagendämpfer halbe [m];

;Variable Einstellung der Klassengrenzen

Radienklasse_1= 1000            ;Standart= >1000m (Geraden)

Radienklasse_2_max= 1000        ;Standard= 600m-1000m (große Bögen)
Radienklasse_2_min= 600

Radienklasse_3_max= 600         ;Standard= 400m- 600m (enge Bögen)
Radienklasse_3_min= 400

Radienklasse_4_max= 400         ;Standard= 250m- 400m (sehr enge Bögen)
Radienklasse_4_min=   0

;------------------------------------------------------------------------------------------
;------------------------------------------------------------------------------------------
```

Abbildung 37: Variablen Bogenradien

Nachdem der Block für die Bogenradienklassen umgesetzt wurde, mussten nun die wichtigsten und auch zugleich letzten Parameter der Startsequenz implementiert werden. Dies waren alle DMS Parameter die für die Rain - Flow – Klassierung notwendig waren. Zu diesen gehörten :

- Median Filter
- HP-Filter
- TP-Filter
- BP-Filter
- Kanal Empfindlichkeit
- Einheit Vergabe
- Temperatur Kompensation
- Kanalname DMS

- Anzahl DMS
- Minwert DMS
- Maxwert DMS
- Schrittweite DMS

Die ersten vier Variablen dieses Blocks waren die allgemeinen Filtermöglichkeiten der DMS – Kanäle. Der **Median** Filter ist eine gute Instruktion, um Spritzer durch Störungen währen der Messung aus dem Signal zu filtern. Die Umsetzung wurde so realisiert, dass dieser ebenfalls mit einer „1“ oder „0“ deklariert werden kann. Der Standardwert wurde auf drei gesetzt. Dies ist eine Signalglättung über drei Punkte. Der Wert kann jedoch nach Belieben von 3 bis 99 frei gewählt werden. Bei der Umsetzung der Hoch,- Tief,- und Bandpass **Filtermöglichkeiten** und deren Einstellungen wurde genauso vorgegangen, wie bei der TP- Filterung im Block zuvor. Da es hin und wieder vorkommen kann, dass Kanäle gemessen werden, ohne vorher eine **Empfindlichkeit** im Messgerät eingestellt zu haben, sollte mit der Variable „Empfindlichkeit“ eine nachträgliche Empfindlichkeitsvergabe geschaffen werden. Ist dies gewünscht, kann hier direkt ein Zahlenwert eingetragen werden. Da bei dieser Art der Empfindlichkeitsvergabe der Kanal quasi einheitenlos wäre, musste dessen Vergabe ebenfalls mit einer frei deklarierbaren Variable realisiert werden. Als letzten Punkt galt es noch, eine Eingabe für die Extremwerte des Signals sowie eine Möglichkeit für eine flexible Einteilung der Klassenbreiten zu realisieren. Dazu wurden die Variablen **Min**_DMS, **Max**_DMS und **Schritt**_DMS implementiert. Auch hier wurde die Umsetzung so realisiert, dass die entsprechenden Werte direkt als Zahl eingetragen werden können. Nachdem die Erstellung der Startsequenz mit allen notwendigen Variablen erstellt worden ist, mussten die eingetragenen Parameter nun initialisiert werden. Aus diesem Grund wurde eine Untersequenz Namens „Init_Variablennamen“ erzeugt, die alle Parameter der Variablendeklaration aus der Startsequenz initialisierte. Der Sprung in die Untersequenz wurde mit dem Befehl „Sequenz“ eingeleitet. Dies ist der allgemeine Famos Befehl um Sequenzen aufzurufen.

```
Eingabe | STARTSEQUENZ-RF-KLASSIERUNG | RF_Get | RF_Feed | RF_Neu

Radienklasse_4_min=    0

;------------------------------------------------------------------------------------------
;------------------------------------------------------------------------------------------


;Parameter - DMS

;Signal-Filter-Einstellungen
;Median Filter
DMS_Spritzer_entfernen = 0        ;(0->OFF/1->ON)Mit diesem Filter können Signalspritzer entfernt werden
DMS_Wert_median = 3               ;Spritzer im Signal entfernen (Standartwert 3= Glättung über drei Punkte)

;HP-Filter
DMS_HP_Filter_Freq = 0            ;[Hz], 0->Off,  Hochpassfilterung der Spannungen
DMS_HP_Filter_Charakteristik =0   ;Standardwert = 0 -> Butterworth Filter
DMS_HP_Filter_Ordnung = 4         ;Filterordnung, Standardwert = 4

;TP-Filter
DMS_TP_Filter_Freq = 0            ;[Hz], 0->Off,  Tiefpassfilterung der Spannungen
DMS_TP_Filter_Charakteristik =0   ;Standardwert = 0 -> Butterworth Filter
DMS_TP_Filter_Ordnung = 4         ;Filterordnung, Standardwert = 4

;BP-Filter
DMS_BP_Filter_Freq_unten = 0      ;[Hz], 0->Off,  Bandpassfilterung der Spannungen
DMS_BP_Filter_Freq_oben  = 0      ;[Hz], 0->Off,  Bandpassfilterung der Spannungen
DMS_BP_Filter_Charakteristik =0   ;Standardwert = 0 -> Butterworth Filter
DMS_BP_Filter_Ordnung = 4         ;Filterordnung, Standardwert = 4


Kanal_Empfindlichkeit = 0         ;"0=Aus" ansonsten kann hier die Empfindlichkeit eingegeben werden, falls
Einheit_Vergabe = ""              ;Hier kann die "Einheit" eingegeben werden, in der der Kanal angezeigt we


Kanalname_DMS = "DMS1_B"          ;Namensmuster für die Inidizierung der Variablen. Tip: Es sollten konstan
Anzahl_DMS = 1

;;;;;;

_Min_DMS = -100                   ;Minimum der Messwerte
_Max_DMS =  100                   ;Maximum der Messwerte
Schritt_DMS = 2                   ;Standardwert=1 -> für Schrittweite von einer Einheit. Tip: Schrittweite
;Hysterese ist gleich der Schrittgröße bzw. eine Klassenbreite!


;------------------------------------------------------------------------------------------
;------------------------------------------------------------------------------------------
```

Abbildung 38: Allgemeine DMS Parameter

7.2.3 Sequenz Init_Variablennamen

Als erstes wurde die Abarbeitung der Streckendaten realisiert. Da es möglich sein konnte, dass es für ein und dieselbe Messung mehrere Dateien gibt, die alle gleichzeitig geladen werden können, mussten alle Dateien einer Messung erfasst werden. Als nächstes musste eine Schleife eingeleitet werden, die eine Berechnung der Gesamtkilometer so oft wiederholt, bis alle Dateien abgearbeitet wurden. Auf die Berechnung wird in Kapitel 7.2.11.6 genauer eingegangen. Im Anschluss daran wurde eine Abfrage erstellt, um zu erfassen, ob die separate Auswertung der Radienklassen in der Startsequenz aktiviert worden ist. Sollte dies der Fall sein, würde ein Sprung in die Berechnungssequenz erfolgen und die komplette weitere Bearbeitung der RF Auswertung würde über die Radienklassenberechnung weiter abgearbeitet. Sollte keine separate Auswertung der Bogenradienklassen gewünscht sein, so würde die Berechnungssequenz einfach übersprungen werden. Zur Berechnung des Rainflow ohne Bogenradienklassen musste eine Abfrage erstellt werden, die feststellte, ob DMS eingeladen wurden und ob die Radienklassenoption in der Startsequenz deaktiviert ist. Sollte dies der Fall sein, musste auch hier wieder eine Feststellung aller geladenen Dateien ermöglicht werden. Nun wurden die Sprünge in die Untersequenzen zur Vorbereitung der Rainflow realisiert. Zu diesen gehörten alle diejenigen, die in der Startsequenz zu diesem Block gesetzt werden konnten. Dies waren Empfindlichkeit, Einheitvergabe, Spritzer entfernen, TP-Filter, HP-Filter, sowie BP-Filter. Zur Kon-

trolle deren ordnungsgemäßen Abarbeitung, wurde eine Checksumme erzeugt, die nach einem erfolgreichen Durchlauf jeder Untersequenz um eins inkrementiert wird. Anschließend war die initialisierte Checksumme auf dessen Stimmigkeit zu prüfen. Nach der erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Abarbeitung, wurde eine Boxnachricht ausgegeben. Daraufhin musste noch die Abtastfrequenz ermittelt werden. Im Anschluss daran, wird die Untersequenz zur Rainflow Berechnung eingeleitet.

7.2.4 Sequenz km_Gesamt

Die Sequenz km_Gesamt ist für die Berechnung der gefahrenen Gesamtkilometer zuständig. Dazu wurden zwei Hilfsvariablen erzeugt, die für eine Zählerschleife und einen leeren Kanal genutzt wurden. Als nächstes wurde die Schleife eingeleitet und mit der Variable „Anzahl_vkmh_1“ verglichen, um alle geladenen Dateien zu erfassen. Anschließend musste der aktuelle Kanalname eingelesen werden. Dies ist nötig, damit die Berechnung den richtigen Datensatz abarbeiten kann. Daraufhin erfolgte die Berechnung mit folgender Formel:

$$Gesamtstrecke = \int \frac{vkmh}{3600}$$

um das Ergebnis in „km“ zu erhalten. Abschließend musste noch die Einheit des berechneten Kanals gesetzt werden.

7.2.5 Sequenz Rad_Init

Bevor die Berechnung der Radienklassen eingeleitet werden konnte, war es nötig, einige vorbereitende Parameter zu erstellen. Dazu mussten als erstes wieder zwei Hilfsvariablen erstellt werden, die eine Schleifenabarbeitung ermöglichten. Als nächstes musste festgestellt werden, ob die Berechnung der Radienklassen in der Startsequenz aktiviert worden ist. Des Weiteren wurde wieder eine Kanallistenabfrage erstellt, um alle geladenen Dämpfer Dämpferweg Dateien einer Messung zu erfassen und um aus diesen wiederum den dazugehörigen Kanalnamen auszulesen. Daraufhin musste unter Hilfenahme der erstellten Hilfsvariablen eine Schleife eingeleitet werden, die alle erfassten Dateien des Dämpfer Weges aneinander bindet, um eine vollständige Datei zu bekommen. Das hat den Hintergrund, dass bei der weiteren Vorgehensweise lediglich mit einer Datei gearbeitet werden muss. Nachdem alle Dateien gebunden wurden, galt es zu überprüfen, ob die Einheit in Metern angegeben wurde. Wenn nicht sollte diese automatisch auf Meter gesetzt werden. Nachdem der Dämpferweg nun als eine zusammenhängende Datei für die gesamte Messung vorlag, wurden mit dem Median Filter mögliche Spritzer entfernt. Auch hier musste

nun, wie in der Sequenz „Init_Variablennamen“ die Sprünge in die Untersequenzen zur Kanalvorbereitung realisiert werden. Zu diesen gehörten ebenfalls alle die, die in der Startsequenz zu diesem Block aktiviert werden konnten. Dies waren TP-Filter und Auto Offset - Entfernung. Da die Offset Entfernung bei der Berechnung der Bogenradien von großer Bedeutung ist, wurde zur Kontrolle eine Grafikausgabe erzeugt, die mit „Ok“ oder „Abbruch“ zu bestätigen ist. Mit „Abbruch“ würde die komplette Abarbeitung abgebrochen werden. Zur Kontrolle der ordnungsgemäßen Abarbeitung der Untersequenzen, wurde auch hier wieder eine Checksumme erzeugt, die nach einem erfolgreichen Durchlauf jeder Untersequenz um eins Inkrementiert wird und mit der initialisierten Checksumme verglichen wird. Bei einem Fehler würde die Abarbeitung abgebrochen werden. Nun musste die Berechnung des Radius erfolgen. Dazu wurde folgende Formel angewandt:

$$Radius = \frac{Zwischenwagendämpfer * Drehzapfenabstand}{Dämpfer\ Weg}$$

Anschließend musste noch die Krümmung mit folgender Formel berechnet werden.

$$Krümmung = \frac{1}{Radius}$$

Der Radius und die Krümmung sind entscheidende Parameter zu Identifikation der verschiedenen Radienklassen. Auf dessen Bedeutung wird im späteren Verlauf noch explizit eingegangen. Zur weiteren Vorbereitung der Radienklassenberechnung mussten alle V/km/h Dateien einer Messung und alle DMS Dateien einer Messung zusammengebunden werden. Das Aneinanderbinden der Dateien erfolgte hier genauso wie es mit dem Dämpfer Weg geschehen ist. Bei dem gebundenem DMS Kanal mussten nun noch die Filtermöglichkeiten aus der Startsequenz eingeleitet werden und wiederum mit der Checksumme überprüft werden. Dies geschah ebenfalls wie es schon mehrfach im Vorfeld der Fall war. Im Anschluss daran, erfolgte wieder eine Boxausgabe über den Fortschritt der Abarbeitung. Nach der Vorbereitung der Kanäle wurde nun der Sprung in die Untersequenz zur Radienklassenberechnung eingeleitet.

7.2.6 Sequenz Radienklassen

Nachdem nun die vorbereitenden Arbeiten der Radienklassenbestimmung abgeschlossen waren, konnte die eigentliche Berechnung umgesetzt werden. Dazu musste erstmals eine Abfrage erfolgen, welches Verfahren in der Startsequenz ausgewählt wurde. Je nachdem, ob die Berechnung über die Zeit oder den Weg ausgewählt wurde, musste ein Sprung zur entsprechenden Berechnung erfolgen. Zur weiteren Berechnung wurde das Krümmungssignal verwendet, da der Radius nahezu unendlich ist und daher nicht so gut geeignet ist.

Da eine Bogenfahrt immer durch einen Übergangsbogen eingeleitet wird und diese für die Auswertung nicht von Bedeutung waren, musste eine Möglichkeit geschaffen werden, die Übergangsbögen aus dem Signal zu entfernen. Aus diesem Grund wurde das Krümmungssignal differenziert und der Absolutwert gebildet. Als Ergebnis erhielt man somit die Steigung ohne Negativanteile.

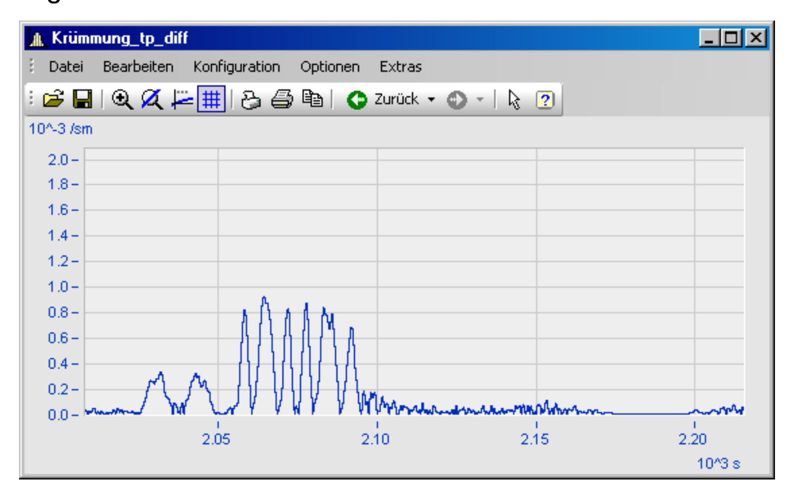


Abbildung 39: Differenziertes Krümmungssignal als Absolutwert (Testdatensatz)

Man konnte davon ausgehen, dass dies die Übergangsbögen sind. Um Störungen zu entfernen, wurde hier wieder das Median - Filter verwendet. Anschließend mussten die Übergangsbögen in dem Signal festgestellt werden. Um dies effizient umzusetzen, wurde eine Schmitt Trigger Funktion verwendet, dessen Ergebnis eine Rechteckfunktion von -1 bis +1 gewesen ist. Die Grenzen des Schmitt - Triggers wurden anhand von Erfahrungswerten auf 0.0002 und 0.00018 gesetzt. Die Grenzen wurden extra nicht auf denselben Wert gesetzt, um eine Hysterese Funktion zu ermöglichen. Mit diesen Werten war ein guter Kompromiss zwischen Übergangsbogen und Bogen geschaffen.

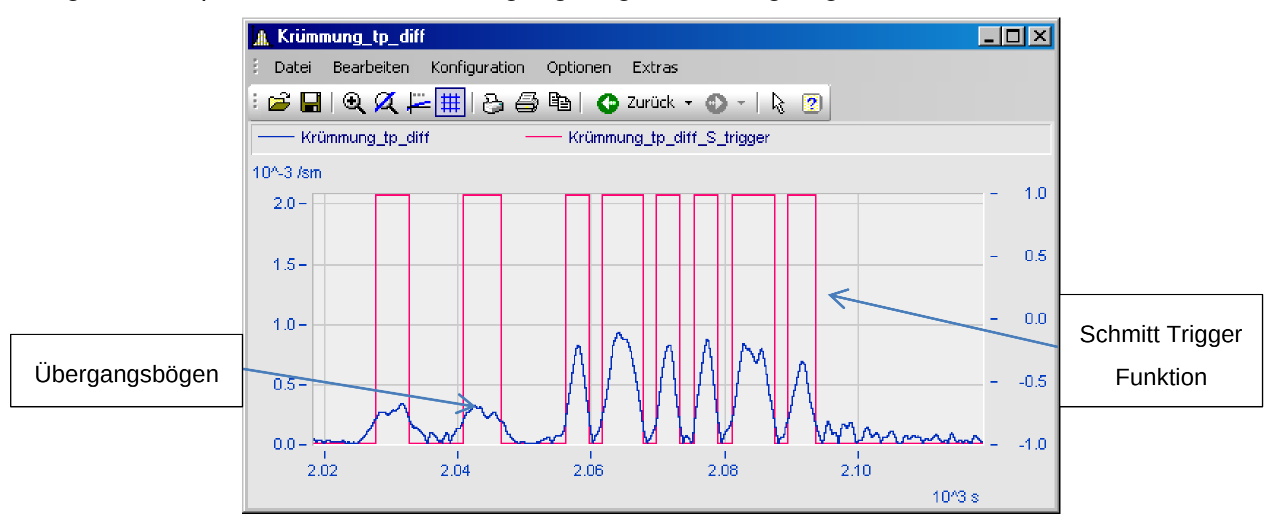


Abbildung 40: Ausgeschnittene Übergangsbögen mit Schmitt Trigger Funktion (Testdatensatz)

Da es vorkommen kann, dass Daten im Vorfeld geschnitten werden, um ungewünschte Teilabschnitte zu eliminieren, musste im nächsten Schritt eine Zeitwertkorrektur eingefügt werden, da sonst der X Anteil, sprich Zeitwert nicht mehr exakt passen würde. Dazu wurde ein Kanal erzeugt, der alle Nulldurchgänge der Schmitt Trigger Funktion beinhaltete. Als nächstes wurde von diesem Kanal der X Offset ermittelt und beides zusammengebunden. Anschließend musste der korrekte Endzeitpunkt erstellt werden. Dazu wurde die Länge des Schmitt - Trigger - Kanals erfasst und ein praktisch ermittelter Wert abgezogen, der mit der Abtastzeit multipliziert wird. Im Anschluss wurde dieser Wert zum X Offset addiert. Dies war nun der korrekte Endzeitpunkt. Nun wurde der errechnete Endzeitpunkt mit dem Kanal der Nulldurchgänge der Schmitt - Trigger - Funktion gebunden. Das Ergebnis war ein bereinigter X Offset. Im nächsten Schritt wurden die Kanäle der 4 Bogenradienklassen erzeugt und eine weiteren für die Übergangsbögen. Diese werden im Anschluss mit den DMS Kanälen multipliziert. Als Ergebnis erhielt man somit ausschließlich die Bogenradienklassen. Dazu wurde eine Schleife eingeleitet, die den negativen Wertebereich der Schmitt - Trigger - Funktion analysierte. Dies waren ausschließlich die Bogenradien (siehe Abbildung 39). Im Anschluss daran mussten die ermittelten Bogenradien der Schmitt - Trigger - Funktion aus dem originalen Radius Kanal ausgeschnitten werden. Da es wichtig gewesen ist, eine positive Funktion als Ergebnis zu erhalten, um diese mit den DMS Kanälen besser multiplizieren zu können, wurde der Kanal mit Null multipliziert und dazu eine Eins addiert.

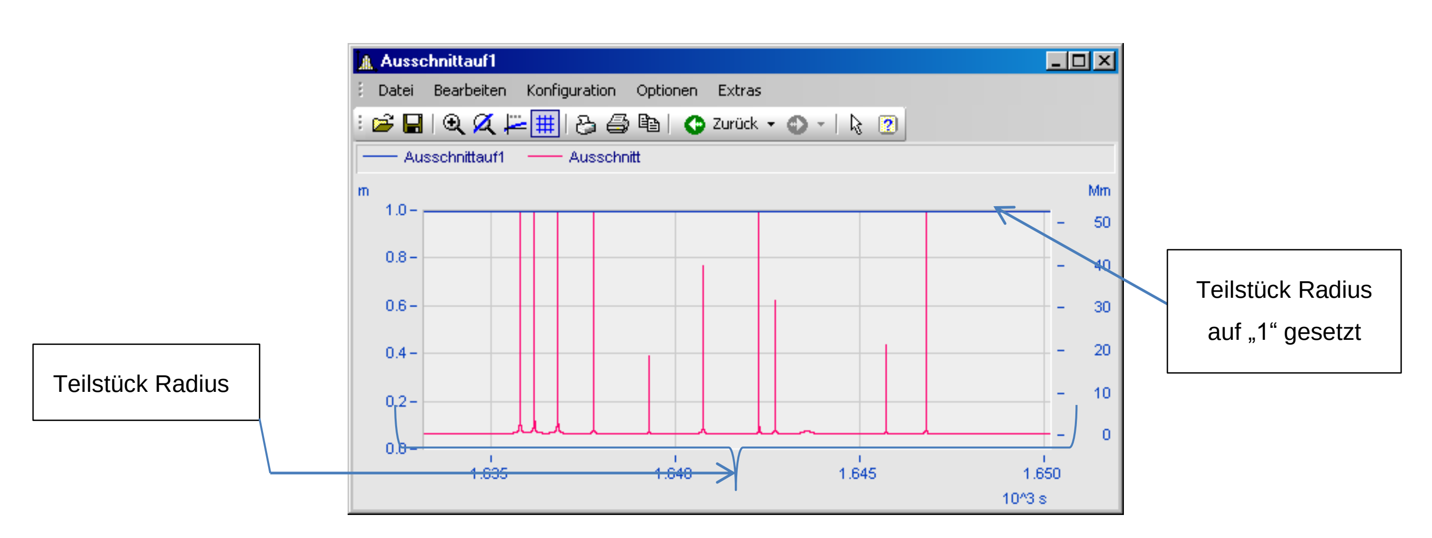


Abbildung 41: Ausgeschnittenes Bogenradiusteilstück und auf 1 gesetzt.

Nun mussten die ausgeschnittenen Bogenradien den zuvor erstellten 4 Klassen zugeordnet werden. Dazu wurde von jedem ermitteltem Teilabschnitt der Mittelwert gebildet und eine Schleife eingeleitet, die diese Mittelwert - Teilabschnitte auswertete und den entsprechenden Klassen zuordnet. Nachdem dies geschehen war, wurden genauso die Übergangsbögen ermittelt. Hier wurde nur der positive Wertebereich der Schmitt - Trigger - Funktion verwendet. Im Anschluss daran wurde noch das Integral des Geschwindigkeits-

kanals gebildet und mit den erzeugten Bogenradienklassen multipliziert. Als Ergebnis wurden die Gesamtkilometer der einzelnen Klassen ausgegeben. Sollte in der Startsequenz die Berechnung der Bogenradien über dem Weg ausgewählt worden sein, erfolgte jetzt die Berechnung der vier Bogenradienklassen über der zurückgelegten Strecke. Dies hatte den Hintergrund, eine Vergleichsmöglichkeit zu schaffen, dessen Berechnung unabhängig von der Zeit sein sollte. Dazu musste das Geschwindigkeitssignal integriert werden, um einen Kanal zu bekommen, dessen Wert der zurückgelegten Strecke entsprach.

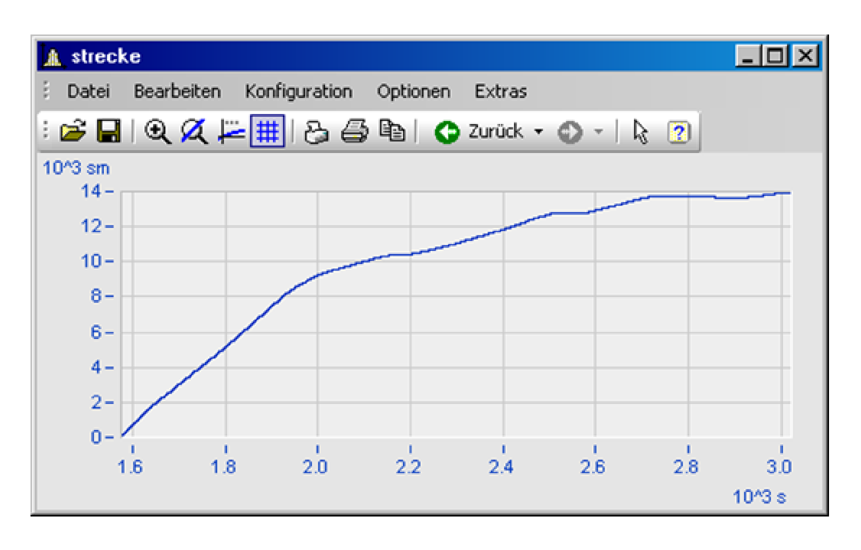


Abbildung 42: Integriertes Geschwindigkeitssignal (Strecke)

Im Anschluss daran wurden aus dem Krümmungssignal die Spritzer entfernt und zweimal gespiegelt (zurück und vor) und mit einem Butterworth TP-Filtert vierter Ordnung, sowie mit einer Frequenz von 3 Hz gefiltert. Als Ergebnis erzeugte man so ein quasistatisches Signal. Unter Hilfenahme des Spiegelns, wurde der Zeitversatz, der durch das Filtern entstand, aus dem Signal eliminiert. Im Anschluss daran bildete man ein XY Diagramm von der Krümmung und der zuvor berechneten Strecke.

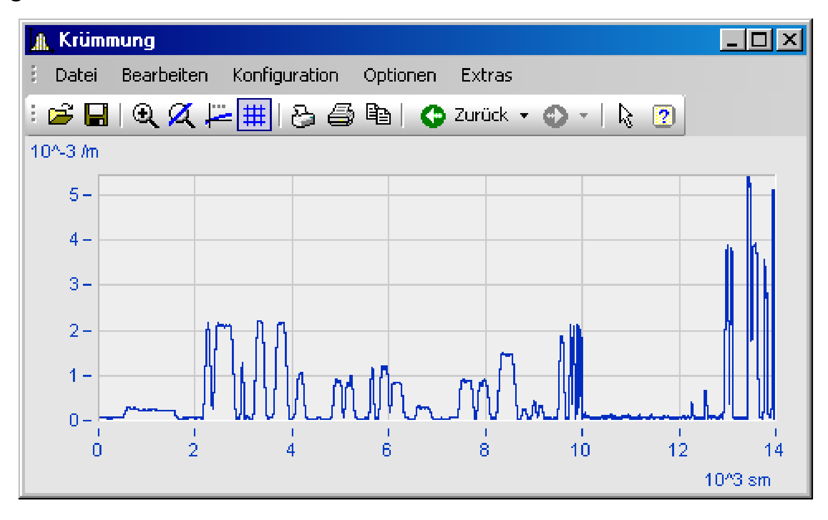


Abbildung 43: XY von Krümmung und Strecke

Somit hatte man nun den Zeiteinfluss aus dem Signal eliminiert. Nun musste, wie auch schon bei der Berechnung über der Zeit, der Kanal differenziert werden. Dies hatten den Hintergrund, dass das Ergebnis die Steigung und somit die Übergangsbögen sind. Im Folgenden wurde hier wieder die Schmitt - Trigger - Funktion verwendet, um die Übergangsbögen herauszusuchen. Die Grenzen des Schmitt Triggers wurden hier auch anhand von praktisch ermittelten Erfahrungswerten gesetzt. Jetzt musste der soeben erzeugte Schmitt - Trigger Kanal als XY Diagramm mit der Strecke erzeugt werden, um wieder einen zeitunabhängigen Kanal zu bekommen.

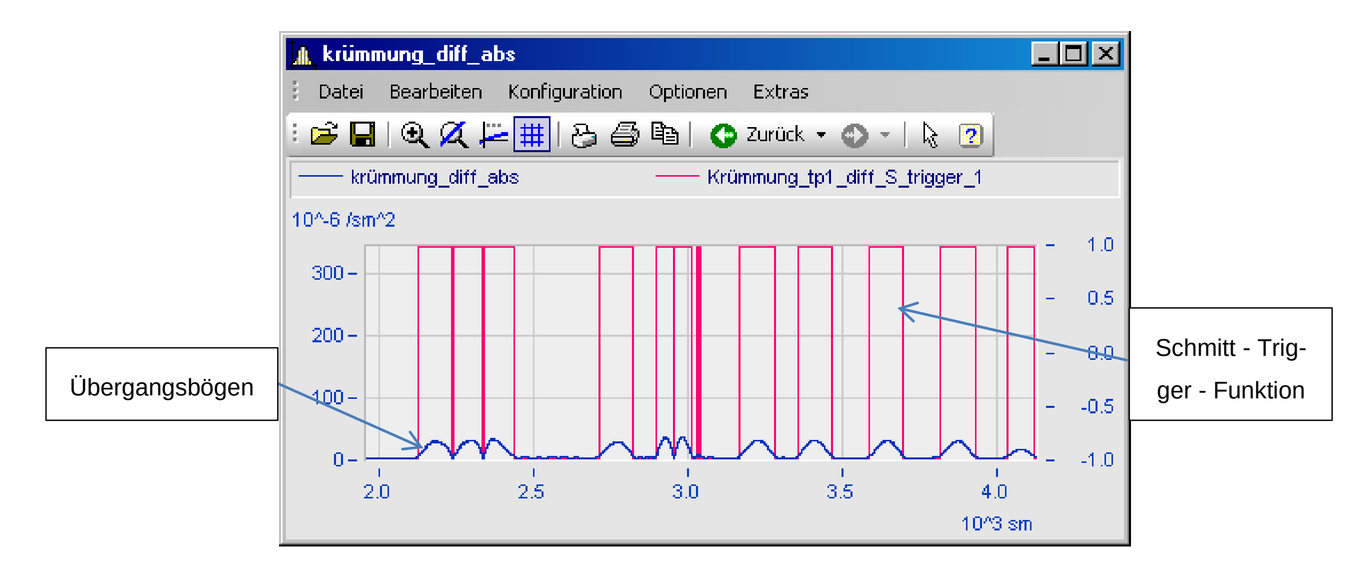


Abbildung 44: Ausgeschnittene Übergangsbögen mit Schmitt - Trigger (zeitunabhängig)

Da jedoch das Ergebnis wieder eine Rechteckfunktion von -1 bis +1 war, musste im Kanal Eins addiert und der Kanal durch Zwei geteilt werden. Nun bekam man eine eindeutige Rechteckfunktion von 0 bis 1. Unter der Annahme, dass die „Einsen" alle Übergangsbögen waren, musste der Kanal jetzt noch mit der Strecke multipliziert werden. Das Ergebnis waren alle Übergangsbögen in einem Kanal, der an die Rainflow - Sequenz übergeben werden konnte. Nun mussten die vier Bogenradienklassen erstellt werden. Dies erfolgte unter derselben Vorgehensweise, wie es bei der Berechnung über der Zeit geschehen ist. Aus diesem Grund mussten alle vier erzeugten Bogenradienkanäle als XY Diagramm mit der Strecke erzeugt werden. Als letztes erfolgte die Streckenberechnung der einzelnen Bogenradien. Dies wurde wie bei der Berechnung über der Zeit realisiert.

Nun waren alle Bogenradien unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien in der Startsequenz erzeugt und konnten an die Rainflow Berechnungssequenz übergeben werden.

7.2.7 Sequenz RF_Init

Bei der Sequenz zur Initialisierung der Rainflowparameter musste einleitend wieder festgestellt werden, ob die Auswahl Rainflow der Bogenradien oder die normale Rainflow - Auswertung erfolgen sollte. Dazu wurde auch hier eine Abfrageschleife eingeleitet, die dies feststellte. Sollte die normale Auswertung ohne Bogenradien ausgewählt sein, musste zunächst festgestellt werden, wie viele Kanäle geladen wurden. Als nächsten Schritt, wurde ermittelt, wie viele Messungen pro Kanal eingeladen wurden. Das hatte den Hintergrund, dass bei dieser Art der Auswertung die Daten vorher nicht gebunden wurden. Als nächstes erfolgte der Sprung in die Untersequenz zur Berechnung der Rainflowmatrix, der Bereichspaarzählung und der Extrapolation, wenn dies in der Startsequenz ausgewählt wurde. Auf die jeweilige Untersequenz wird in den nachfolgenden Kapiteln genauer eingegangen. Die weitere Abarbeitung musste so ablaufen, dass alle Messungen des ersten Kanals herausgesucht und eine Rainflowmatrix erstellt werden musste, um diese wiederum mit der Matrix des ersten Kanals zu verrechnen. Dieser Vorgang musste so lange wiederholt werden, bis alle Messungen des ersten Kanals abgebarbeitet wurden. Anschließend wurde bei allen anderen Kanälen in der gleichen Art und Weise vorgegangen, bis von allen geladenen Kanälen und den dazugehörigen Messungen eine fertige Rainflowmatrix, Bereichspaarzählung und gegebenenfalls eine Extrapolation erstellt wurde. Ein weiterer, wichtiger Punkt, der bei dieser Art der Kanalabarbeitung zu beachten war, ist es, wenn Messungen an verschiedenen Tagen gemacht wurden. In diesem Fall würde die Zeitspur der Kanäle nicht mehr lückenlos sein. Aus diesem Grund fügte man bei der Rainflowmatrix eine Diskontinuität ein. Somit werden anschließend eingespeiste Messwerte als neue Messung betrachtet und können ohne Fehler der Rainflowmatrix beigefügt werden. Als Ergebnis würde man nun die fertige Rainflowmatrix erhalten. Sollte die zu Beginn eingeleitete Schleife einen Sprung zur Berechnung der Rainflow - Bogenradienklassen erzwungen haben, so würde die Abarbeitung der einzelnen Bogenradienklassen nach der eben vorgestellten Vorgehensweise ablaufen. Der einzige Unterschied beläuft sich hierbei auf die Schleifenabarbeitung. Da bei der Berechnung der einzelnen Bogenradienklassen die Daten zusammengebunden wurden, brauchte man hier keine Schleifen verwenden, um die geladenen Kanäle zu analysieren. Dies hatte wiederum den Vorteil, dass keine Diskontinuität eingefügt werden musste. Die Ausgabe der Ergebnisse der beiden vorgestellten Verfahren erfolgt als Kanal, der in den verschiedensten Darstellungsformen angezeigt werden kann. Die Art der Darstellungsformen wird in der späteren Ergebnispräsentation noch einmal aufgenommen.

7.2.8 Sequenz RF_Neu

Die Sequenz RF_Neu musste erstellt werden, um die erste Rainflowmatrix zu erzeugen. Dazu mussten die eingestellten Klassengrenzen aus der Startsequenz erfasst werden und die Klassenbreite berechnet werden. Im Anschluss daran wurden, alle wichtigen Berechnungsparameter, die zu Beginn in der Startsequenz gesetzt wurden initialisiert und gehalten. Des Weiteren wurden eine Min- / Max- Abfrage des aktuellen Kanals implementiert, um gegebenenfalls falsch eingestellte Klassengrenzen zu detektieren. Das Ergebnis dieser Abfrage wurde bei falschen Klassengrenzen als Boxnachricht ausgegeben, um den Anwender auf den Fehler aufmerksam zu machen. Nun konnte die Rainflow - Berechnung umgesetzt werden. Als erstes wurde eine erste Rainflow Initialisierung erstellt, die alle gesetzten allgemeinen Rainflow- Parameter erfasste und sie für die weitere Berechnung bereithält. Hier wird festgelegt, wie die Klassenbreiten der Matrix, die Werte des Residuums und die Klassenbreite der aus der Matrix ermittelten Klassierergebnisse bestimmt werden. Des Weiteren werden die Einheiten der Zeilen, Spalten und des Residuums gesetzt. Das Ergebnis dieser ersten Initialisierung der Rainflow durfte nur durch die Funktion selbst verändert werden, da es für alle anderen Rainflow Funktionen verwendet wurde. Im zweiten Schritt musste eine zweite Initialisierung durchgeführt werden, die den zurückgegebenen Datensatz der ersten Funktion analysierte und die Matrix auf null setzte, sowie das Residuum leerte. Weiterhin lud sie die Min- / Max- Werte, die eingestellte Hysterese, den Achsenverlauf, den eingestellten Zählalgorithmus, die Behandlung von Randklassen sowie die eigentliche Berechnungsverfahren. Als nächsten Schritt musste eine dritte Initialisierung eingeleitet werden, die die zweite Initialisierung der Rainflow - Zählung fortsetzte. Diese lud sich die Bearbeitungsvorschrift für die kleinen Spannen, die sich innerhalb einer Klasse abspielen. Dessen genaue Berechnung ergab die Bearbeitungvorschrift für die Randwerte der Zeitdaten. Nun musste noch die Möglichkeit geschaffen werden, neue Messwerte in die Matrix zu zählen, sodass die Matrix und das Residuum entsprechend aktualisiert wurden. Das galt wiederum nur für den Fall, dass es sich um Messungen mit zeitlichem Zusammenhang handelt, da hier keine Diskontinuität eingefügt wurde. Zuletzt wurde noch das aktuell gehaltene Residuum in die Matrix hineingezählt und anschließend geleert.

7.2.9 Sequenz RF_Feed

Die Sequenz RF_Feed musste erstellt werden, um eine Möglichkeit zu schaffen, Messungen die an verschieden Tagen durchgeführt wurden, in die aktuelle Matrix zu zählen. Das lag daran, dass die Zeitspuren von Messungen an unterschiedlichen Tagen nicht mehr exakt zusammenpassen. Aus diesem Grund wird bei dieser Art von Messungen eine Dis-

kontinuität eingefügt, um die anschließend eingespeisten Messwerte als Daten einer neuen Messung zu betrachten und diese an die alten Messwerte lückenlos anschließen. Das hineinzählen in die Matrix, erfolgte wie eben in Kapitel 7.2.7 erwähnt.

7.2.10 Sequenz BPZ

Die Bereichspaarzählung wurde durchgeführt, um die Kollektive als Summenhäufigkeitskurve und den Eindruck der Lastverteilungen zu bekommen. Dazu musste als erstes eine Abfrage erstellt werden, die feststellte, ob die Extrapolation in der Startsequenz gesetzt und die Gesamtkilometer manuell eingetragen oder über die Geschwindigkeit berechnet wurde. Daraufhin musste ein Extrapolationsfaktor erstellt werden, indem die Lebensdauer mal die gefahrenen Kilometer pro Jahr, durch die Gesamtstrecke geteilt wurde. Um das Ergebnis als XY – Datensatz darstellen zu können, wurde in dem nächsten Schritt der Y-Anteil berechnet. Im Anschluss daran wurde die Bereichspaarzählung eingeleitet und gegebenenfalls mit dem Extrapolationsfaktor multipliziert. Aus dem nun berechneten Y-Anteil und dem Ergebnis der Bereichspaarzählung konnte das XY Diagramm erzeugt werden.

7.2.11 Sequenz RF_Get

Die Sequenz RF_Get wurde erstellt, um die Extrapolation nicht nur bei der Bereichspaarzählung vorzunehmen, sondern auch bei der Rainflow - Zählung. Dabei wurde genauso vorgegangen, wie bei der Bereichspaarzählung, nur das bei der Übergabe der Daten an die Funktion die Rainflow - Zählung übergeben wurde. Des Weiteren war es noch von großer Bedeutung eine Möglichkeit zu schaffen, einige wichtige Parameter als Kommentar in den Kanal einzutragen. Zu diesen gehörten die Filterfrequenz sowie Min- / Max-Werte.

7.2.12 Bearbeitungssequenzen

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Sequenzen eingegangen, die während der sequenziellen Abarbeitung eingeleitet wurden, um eine Signalanpassungen zu ermöglichen. Dies geschah um erforderliche Informationen für die Berechnungsvorgänge aus den geladenen Kanälen abzurufen, diese waren aber nicht maßgeblich an der Rainflowauswertung beteiligt.

7.2.12.1 Sequenzen Hochpass Bandpass und Tiefpassfilterung

Die folgenden drei Sequenzen wurden alle als Einzelsequenzen ausgeführt, aber aus Dokumentationszwecken als ein Punkt zusammengefasst. Die Filtersequenzen wurden alle mit einer Abfrage eingeleitet, die auch hier die gesetzten Parameter wie Filterfrequenz, Filterordnung, sowie Filtertyp aus der Startsequenz analysierte. Auf die genaue Bedeutung wurde bereits im Kapitel 7.2.1 eingegangen. Je nachdem welche Filter in der Startsequenz eingestellt und gesetzt wurden, werden diese auf den geladenen Kanälen unter Hilfe der Sequenz Init_Variablennamen und Sequenz Rad_Init angewendet.

7.2.12.2 Sequenz Abtast_Frequenz

Die Sequenz „Abtastfrequenz“ wurde erstellt, um die eingestellte Abtastfrequenz der einzelnen Kanäle während der Messung zu analysieren und dokumentieren. Dazu wurde wie folgt vorgegangen. Es wurde eine Abfrage erstellt, die alle geladenen Kanäle mit dazugehörigen Messungen aus der Kanalliste suchte und die entsprechenden Einheiten feststellte. Im nächsten Schritt wurde die Abtastzeit abgefragt und von dieser der Kehrwert gebildet, um die entsprechenden Frequenzen zu erhalten. Zur Ausgabe und Dokumentation wurde die Variable Abtastfrequenz mit einem Index des jeweiligen Kanals erstellt.

7.2.12.3 Sequenz_Auto_Offset_Entfernung

Die Sequenz „Auto Offset Entfernung“ entfernt den Offset vom Wegkanal, bei dessen Aktivierung in der Startsequenz. Die Umsetzung der automatischen Offsetentfernung konnte nur unter Verwendung eines Geschwindigkeitssensors, sowie eines in Klinometer - Sensors realisiert werden. Dies ist ein Winkelmessungssensor, der in der Regel verwendet wird, um die unausgeglichene Querbeschleunigung eines Fahrzeugs zu ermitteln. Die Entfernung des Offsets wird üblicherweise so realisiert, dass der Mittelwert vom Kanal gebildet wird und dieser wiederum vom Kanal abgezogen wird. Da diese Art der Offsetentfernung in diesem Fall aber zu ungenau war, wurde eine Schleife eingeleitet, die folgende Bedingungen auswertete. Es wurde die Länge des Datensatzes abgefragt und sukzessiv jeder Abtastpunkt analysiert, ob die unausgeglichene Querbeschleunigung quasi „0“ und das Geschwindigkeitssignal größer 50kmh ist. War diese Bedingung erfüllt, konnte davon ausgegangen werden, dass sich das Fahrzeug in diesem Punkt in Bewegung befand und keine Bogenfahrt durchfuhr. Anschließend wird dieser Wert erfasst und vom Wegkanal abgezogen. Somit war der Offset ausreichend genau vom Wegkanal entfernt.

7.2.12.4 Sequenz Empfindlichkeit_und_Einheiten_Vergabe

Die Sequenz „Empfindlichkeit und Einheit Vergabe“ wurde umgesetzt, um nachhaltig die beiden Parameter dem DMS Kanal zuzuordnen. Dies musste realisiert werden, da es unter Umständen vorkommen kann, dass bei Messungen keine Empfindlichkeit sowie Einheit bei der Messung eingetragen wurde, wie in Kapitel 7.2.1 schon einmal erwähnt. Dazu wurde eine Abfrage gesetzt, ob in der Startsequenz die Einheit und Empfindlichkeit manuell eingetragen wurde. Sollte dies der Fall sein, wird die entsprechende Einheit gesetzt und der Kanal mit der entsprechenden Empfindlichkeit multipliziert.

7.2.12.5 Sequenz Spritzer_entfernen

Die Sequenz „Spritzer entfernen“ wertete ebenfalls die Startsequenz aus, ob die Funktion gesetzt wurde. Sollte dies der Fall sein, würde auf diesen Fall der Medianfilter auf dem DMS Kanal angewandt.

7.2.12.6 Sequenz Hilfsvariablen_entfernen

Als letzte Sequenz musste nun noch die Sequenz „Hilfsvariablen entfernen“ umgesetzt werden. In dieser Sequenz wurden alle erstellten Variablen, die in der Ergebnisliste nicht mit erscheinen sollten, gelöscht.

Nach Fertigstellung der Auswertesequenz musste noch eine Bedienungsanleitung erstellt werden. Diese befindet sich im Anhang A1. Nun konnte im Anschluss die Auswertung der Daten vorgenommen werden.

8 Auswertung Messsignale

Das Kapitel 8 befasst sich mit der gesamten Auswertung der gemessenen Signale der Pendelstütze. Dies wurde mit der Auswertesoftware „Famos“ von IMC – Berlin realisiert. Dies beinhaltet die Vorbereitung der Signale auf die Rainflow - Sequenz, wie z.B. das Entfernen von groben Störungen, die Prüfung auf Plausibilität, sowie die Auswertung anhand der entwickelten Auswertesequenz bis hin zur Ergebnispräsentation. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass bei der Messung der Pendelstütze, der Knickwinkel des Zwischenwagendämpfers nicht mitgemessen wurde. Daher kann nur eine Rainflowauswertung der gesamten Messtrecke vorgenommen werden und nicht der einzelnen Bogenradienklassen. Jedoch aus Dokumentationszwecken dieser Arbeit, wird die Ergebnispräsentation der Auswertung von den vier Bogenradienklassen anhand des Testdatensatzes, der für die Entwicklung der Auswertesoftware verwendet wurde vorgestellt.

8.1 Auswertung GPS – Signale

Als ersten Punkt der Auswertung mussten die aufgezeichneten GPS – Signale für die Darstellung mit Google – Earth aufbereitet werden. Das Canser – GPS zeichnet dazu 5 GPS Kanäle auf. Die Höhe, die Latitude, die Longitude, die Geschwindigkeit in Knoten und die Anzahl der gefundenen Satelliten.

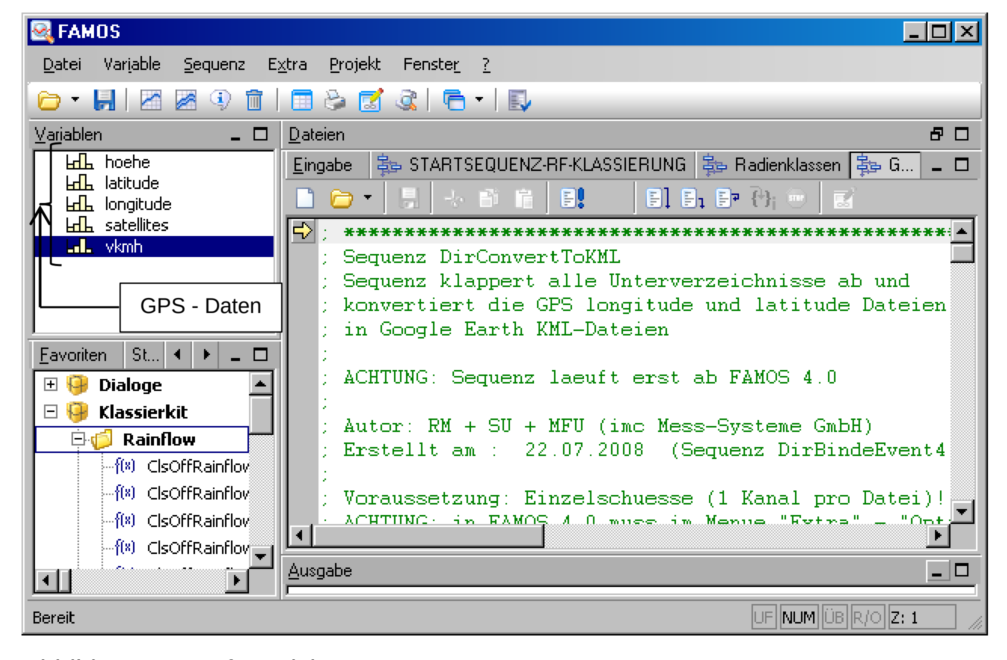


Abbildung 45: Aufgezeichnete GPS Daten

Zur Aufbereitung der Daten für Google Earth sind lediglich die Longitude sowie die Latitude von Bedeutung. Dies ist der Längen und Breitengrad, die zur Konvertierung benötigt wurden. Da sämtliche Daten während der Versuchsfahrten mit einer Abtastrate von 1ms abgetastet wurden, dies aber viel zu hoch für die Konvertierung der Daten in ein anderes Format ist, mussten diese nachträglich abgetastet werden. Dies erfolgte mit einer Nachabtastung von 1000 Punkten. Somit ergab sich ein Konvertierungsfähiger Datensatz, der mit einer Abtastung von 1s gleichzusetzten war. Die Umsetzung der Konvertierung erfolgte mit einer fertigen Sequenz der Firma IMC. Die Sequenz ermöglichte es die IMC - typischen Daten in das KML Datenformat von Google Earth zu konvertieren. *KML ist eine Auszeichnungssprache als Erweiterung zu XML. Sie wurde zur Beschreibung von Geodaten für die Client-Komponenten der Programme Google Earth und Google Maps entwickelt. KML befolgt die XML Syntax. KML Dokumente, können Geodaten sowohl in Vektor- wie auch in Rasterform beinhalten. Vektorobjekte wie Punkte, Linien, lineare Ringe, Polygone oder COLLADA-Modelle werden als Placemark - Elemente und Luft- und Satellitenbilder als Ground Overlay Elemente modelliert. Neben der Geometrie können Placemark-Elemente Name, Beschreibung, vordefinierten Stil, Betrachtungswinkel und -höhe, einen Zeitstempel, aber auch beliebige untypisierte oder typisierte Daten, z.B. aus einem Geoinformationssystem, umfassen. Dasselbe gilt auch für ein Ground Overlay Element, wobei anstelle der Geometrie ein Koordinatenausschnitt zur Georeferenzierung der Rasterdaten definiert werden muss. Nachdem die Sequenz zur Konvertierung abgearbeitet war, erzeugten sich zwei KML Dateien für den ersten und zweiten Tag. Durch öffnen dieser wurde nun automatisch die Strecken in Google – Earth erzeugt.[KML]*

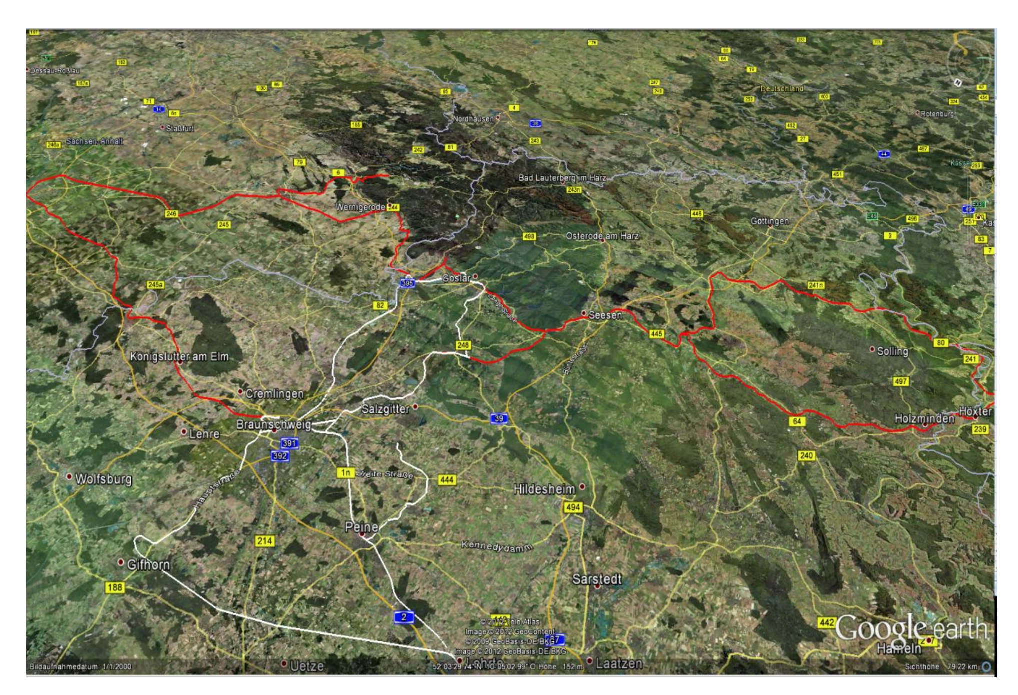


Abbildung 46: Streckenverlauf Tag 1 und Tag 2 (weiß)

Die Darstellungsmöglichkeit in Google Earth ist sehr gut geeignet, um während der Vorverarbeitung der Messsignale unerklärliche Signalkomponenten komfortabel zu beurteilen. Die Strecke kann somit sukzessiv auf Bahnschwellen, Brücken, Bahnübergänge sowie eine schlechte Strecke durch Güterverkehr beurteilt werden. All dies sind Komponenten die auf den ersten Blick wie Störungen (Spikes) im Signal wirken.

8.2 Vorverarbeitung Messsignale

Zuerst musste mit den Kollegen aus der Drehgestellkonstruktion geklärt werden, wie die Übergabe der Daten erfolgen sollte. Nach einem kurzen Gespräch einigte man sich, die Daten so einzuteilen, wie die Messfahrt tatsächlich verlaufen ist. Sämtliche Messungen wurden in den ersten und zweiten Tag der Messfahrten eingeteilt. Zur Vorverarbeitung jedoch wurden alle Messungen zusammen in die Auswertesoftware Famos geladen und nach groben Spritzern bzw. nicht plausiblen Effekten im Signal gesucht. Um dies zu realisieren, wurden zuerst alle Messungen des DMS - Kanals „F_Pendelstützkraft“ in ein Kurvenfenster geladen. Dies hatte jedoch zur Folge, dass sämtliche Messungen zeitlich übereinander lagen und sich somit schlecht ein erster Überblick verschafft werden konnte. Mit der Option „zeitrichtige Darstellung“, konnten alle Messungen in chronologischer Reihenfolge dargestellt werden. Wie sich schnell erkennen ließ, gab es tatsächlich einige nicht plausible Vorkommnisse. Nach genauerer Betrachtungsweise ließen sich diese durch ihren unharmonischen Amplitudengang, auch als solche eingruppieren. Im Folgenden galt es diese Effekte zu eliminieren. Da „Spikes“ nicht immer leicht vom korrekten Verhalten des Signals zu unterscheiden sind, ist es daher kaum möglich, diesen Vorgang vollautomatisch zu gestalten und macht die Signalvorverarbeitung vor der eigentlichen Rainflowauswertung so gut wie unmöglich.

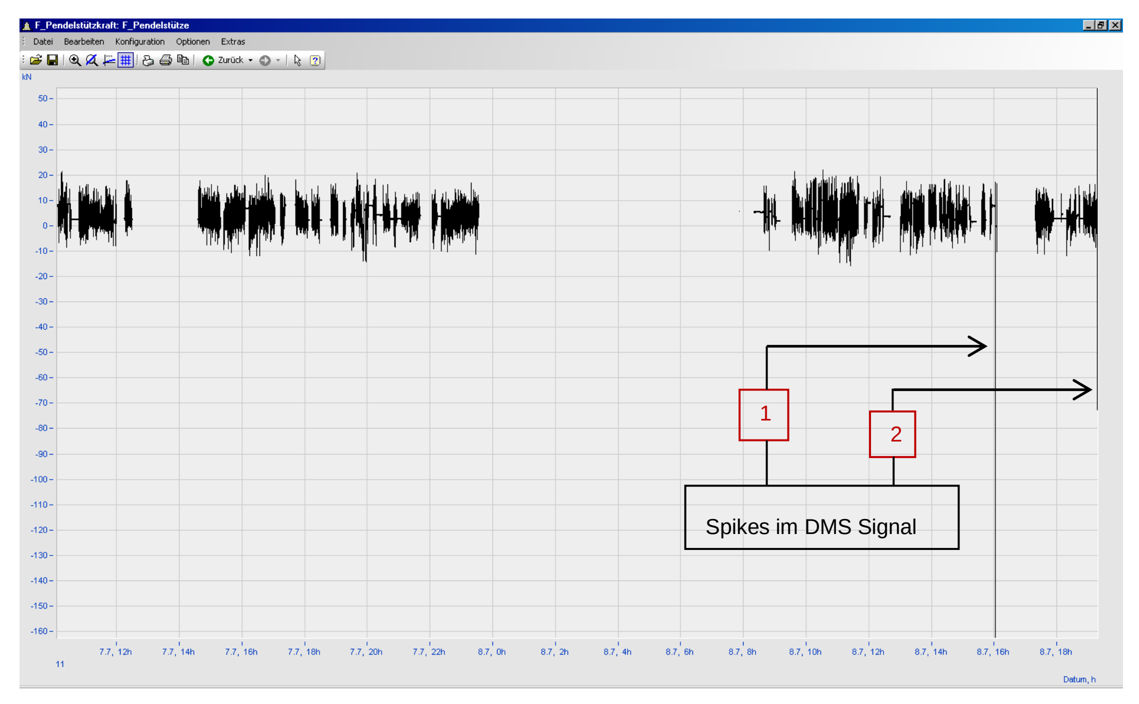


Abbildung 47: zeitrichtige Darstellung der gesamten Rohdaten DMS – Pendelstütze

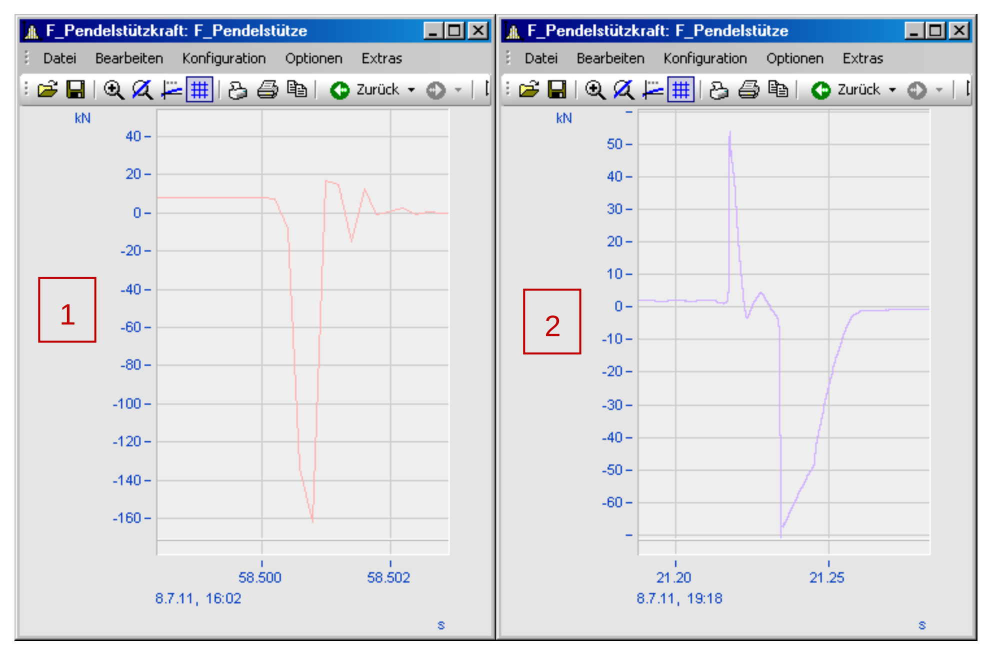


Abbildung 48: Aufgelöste Darstellung Spritzer im Signal

Um die beiden Spikes aus dem Signal zu entfernen, wurde eine Funktion angewendet, mit der der zu eliminierende Bereich anhand zwei frei beweglicher Cursoren auszuwählen war und durch eine Verbindungsgerade ersetzt werden konnte. Als Ergebnis lag jetzt ein bereinigter Datensatz ohne Spikes vor. Als nächstes wurden die Daten zusammengebunden. Das Binden der Daten wäre zwar im Zusammenhang mit der Auswertesequenz automatisch geschehen, wurde aber aus Gründen des vereinfachten Handlings des großen Datensatzes bei dieser Auswertung nicht angewendet. Des Weiteren ist anzumerken,

dass nach dem Binden der Daten der Bezug zur originalen Zeitbasis verloren geht, da die Daten lückenlos aneinandergefügt werden.

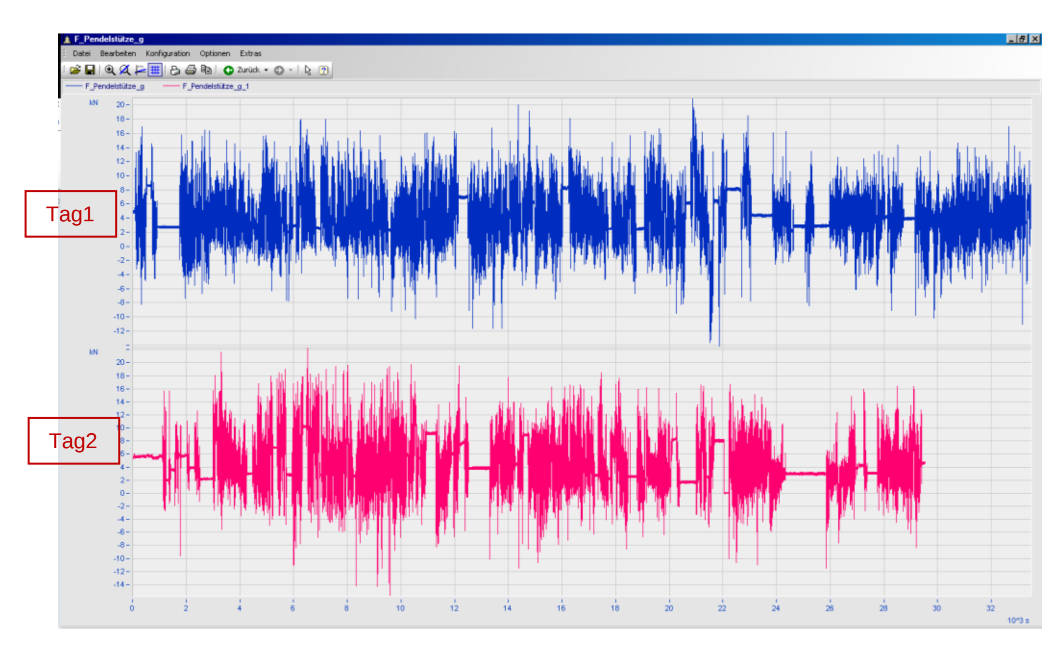


Abbildung 49: gebundener Datensatz Tag 1 und Tag 2

Des Weiteren war zu Beginn der Fahrversuche ein starkes Rauschen auf dem Geschwindigkeitskanal zu erkennen, welches sich schnell auf ein Problem mit der Fahrzeugmasse durch unterschiedliche Potentiale zurückführen ließ. Daher kam die Idee, das Geschwindigkeitssignal über einen Trennverstärker anzuschließen. Der vorgestellte galvanische Trennverstärker dient dem potentialgetrennten Austausch analoger Messsignale. Nachdem der Trennverstärker eingebaut wurde, zeichnete sich sofort ein deutlich besseres Geschwindigkeitssignal ab.

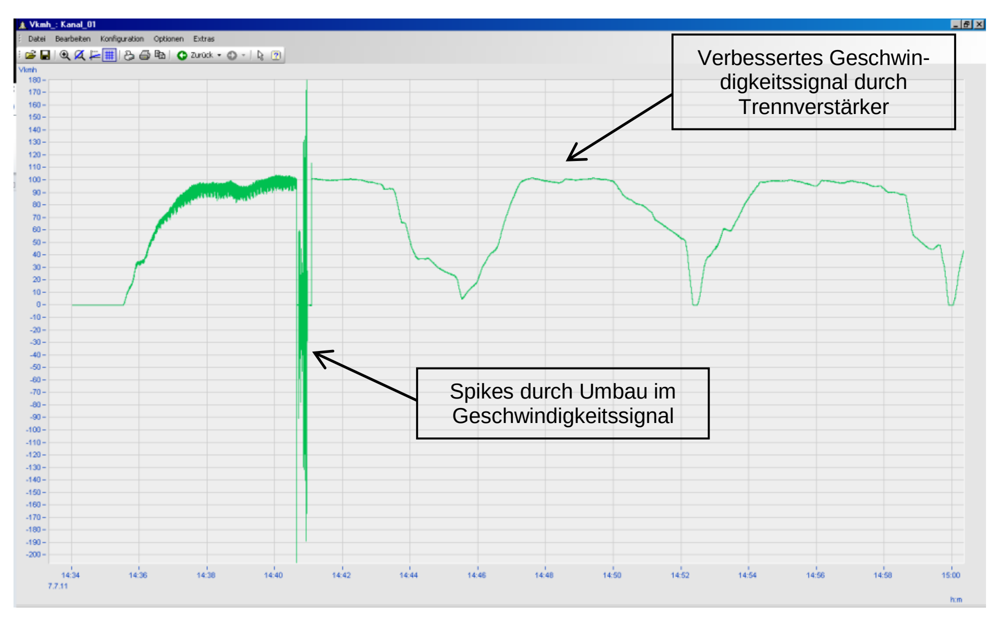


Abbildung 50: Rohdaten Geschwindigkeit

Die Spikes, die sich umbaubedingt nun im Signal abzeichnen, mussten entfernt werden. Zur Anwendung kam hier die gleiche Methode, wie sie auch schon bei dem DMS - Pendelstützkanal verwendet wurde. Auch in diesem Fall wurden die Daten aus dem Grund des besseren Handlings zu einem Datensatz in Tag 1 und Tag 2 zusammengebunden und im Anschluss an die Rainflowauswertung als kompletten Datensatz übergeben.

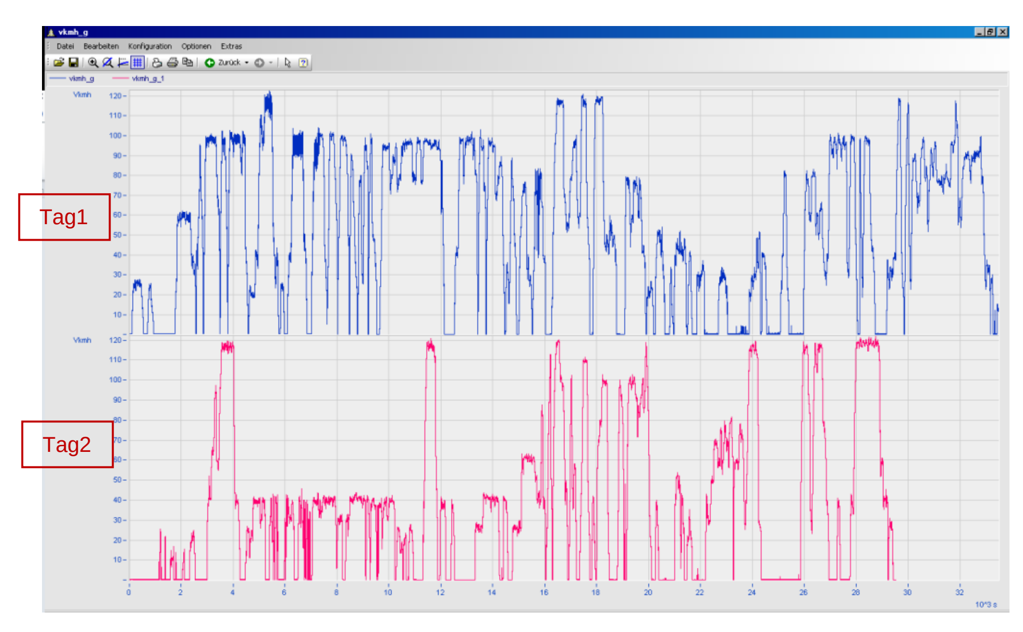


Abbildung 51: Bereinigtes und gebundenes Geschwindigkeitssignal Tag1 und Tag 2

Nachdem nun die beiden Signale für Tag 1 und Tag 2 nach Plausibilität überprüft wurden, und alle Störungen beseitigt waren, konnten die Daten in die entwickelte Rainflow Auswertesequenz geladen werden.

8.3 Rainflowauswertung anhand der entwickelten Sequenz

Als erstes musste der Aufruf der Startsequenz erfolgen und alle notwendigen Parameter eingetragen werden. Die Auswertung erfolgte nach folgendem Schema:

- Zeile ist Startklasse und Mittelwert
- Auswertung über Amplitude und Mittelwert
- offene Randklassen
- Auswertung nach 4 Punkt Base Algorithmus
- Residuum als ganzen Schwingspiel Zählen
- Kleine Spannen werden ignoriert
- Spannen werden präzise berechnet
- Start und Endwert nicht als Extremwert zählen

- keine separate Filterung nach den vier Bogenradienklassen
- keine Filterung des DMS Pendelstütz Kanals
- keine separate Empfindlichkeit und Einheitenvergabe
- Aufteilung zwischen den Extremwerten in 100 Klassen

Nachdem alle wichtigen Berechnungsattribute in der Startsequenz gesetzt wurden, kann jetzt die Ausführung der Startsequenz erfolgen.

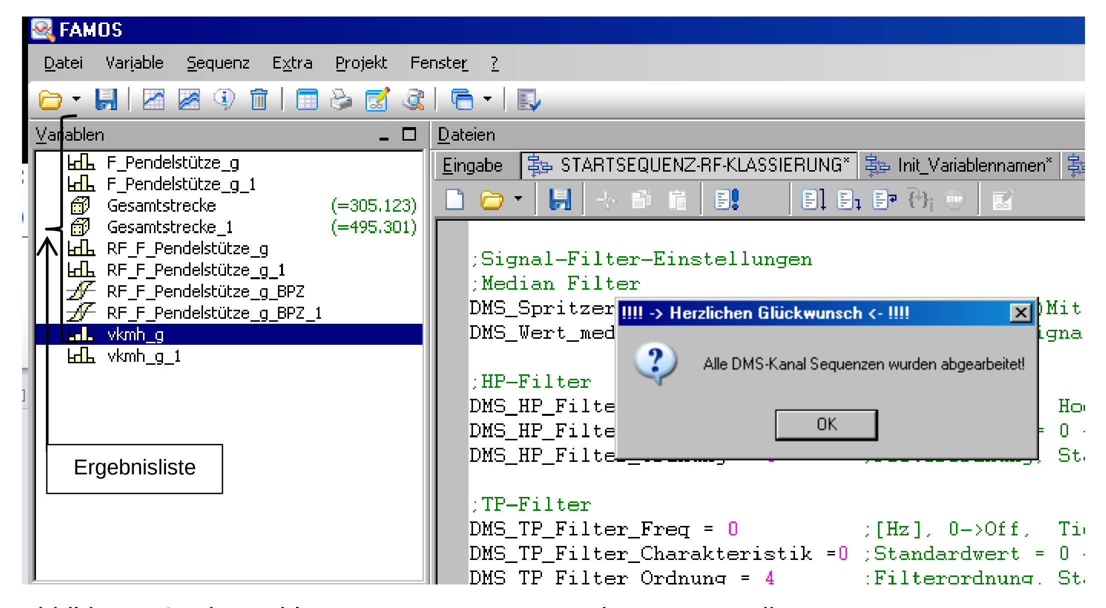


Abbildung 52: Abgeschlossene RF-Auswertung ohne Bogenradien

In Abb. 49 ist die abgeschlossene Rainflowauswertung für Tag 1 und Tag 2 zu sehen. Die Rohdatenkanäle bleiben erhalten und werden nicht aus der Ergebnisliste gelöscht. Als Ergebnis wird die berechnete Gesamtstrecke, die Bereichspaarzählung, sowie die Rainflow Matrix für beide Tage ausgegeben.

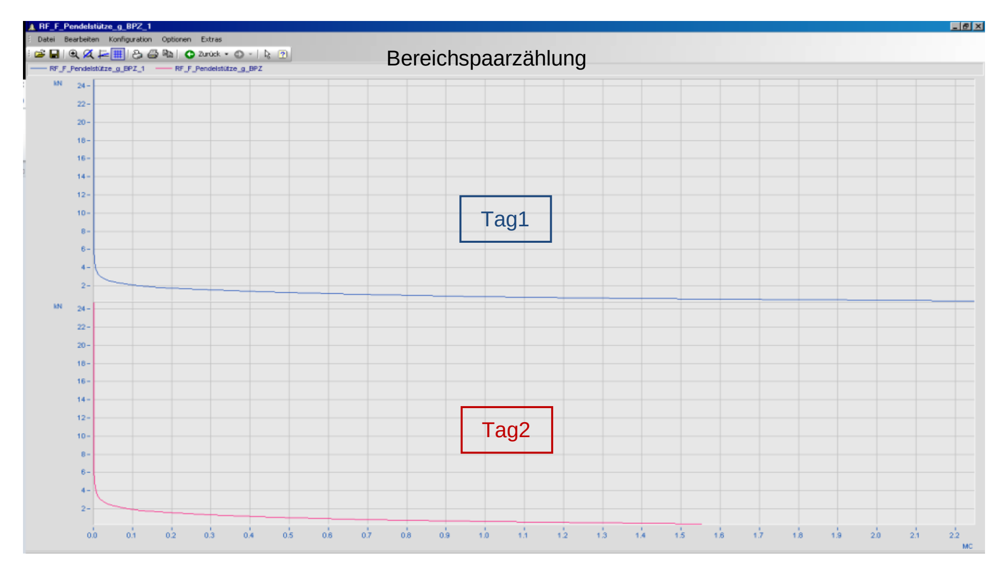


Abbildung 53: Bereichspaarzählung Tag 1 und Tag 2

In Abb. 53 sind die Ergebnisse der Bereichspaarzählung wiedergegeben. Hier ist entlang der vertikalen Achse die Kraft in Kilonewton ausgegeben und entlang der Horizontalen Achse die detektierten Schwingspiele. Anhand dieser Grafik lässt sich schnell ein erster Überblick über die Kraftschwingspielverteilung feststellen und eine erste Vermutung zum Bauteilverhalten aufstellen.

Für die reine Rainflowmatrix wie in der Ergebnisliste ausgegeben, stehen drei Darstellungsmöglichkeiten zur Verfügung. Bei der ersten Darstellungsmöglichkeit handelt es sich um die sogenannte 2D[21] Standardansicht (s. Abb. 54).

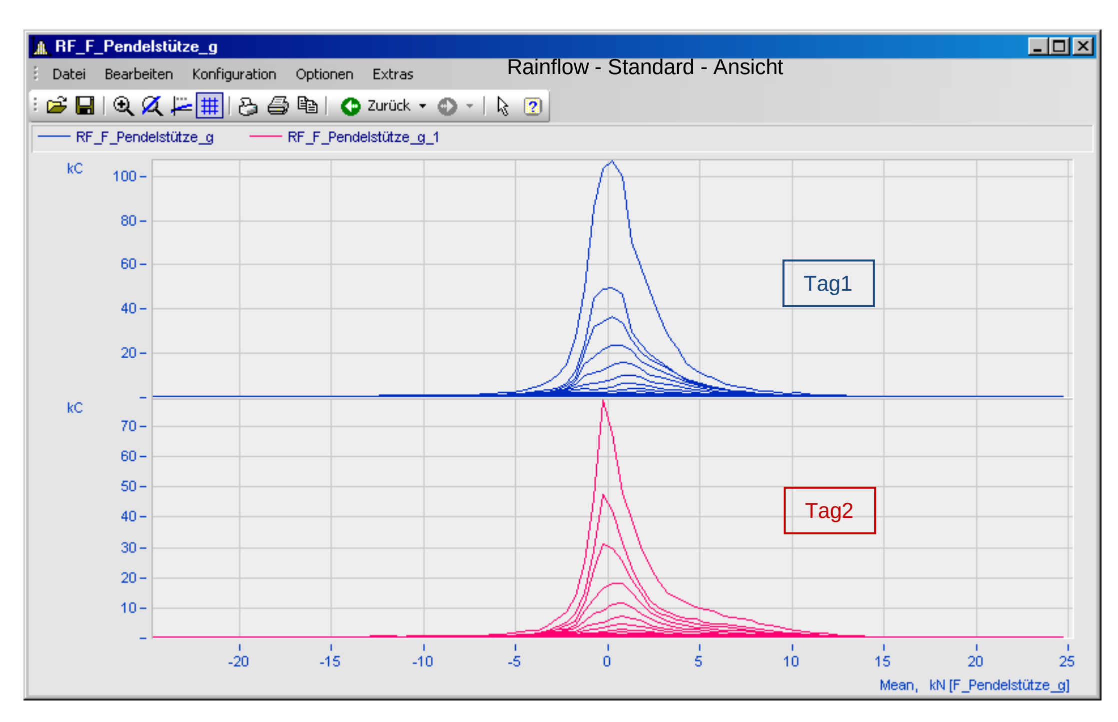


Abbildung 54:Rainflow 2D - Standardansicht

Hier sind entlang der vertikalen Achse die detektierten Schwingspiele in den zugehörigen Klassen zu sehen und entlang der horizontalen Achse die Amplituden der eingestellten Klassengrenzen bezogen auf ihren Mittelwert. Bei dieser 2D – Ansicht ist leider nicht der Zusammenhang mit der jeweiligen Amplitude erkennbar. Daher gibt es eine weitere Darstellungsmöglichkeit. Diese ist die 3D[22] Amplituden Mittelwert Darstellung (Wasserfalldarstellung). Anhand dieser Grafik lassen sich alle drei Betrachtungsfaktoren (Amplitudenmittelwertverteilung, Amplitude und Schwingspiele) darstellen (s. Abb. 55).

[21] Zweidimensionale Betrachtungsweise

[22] Dreidimensionale Betrachtungsweise

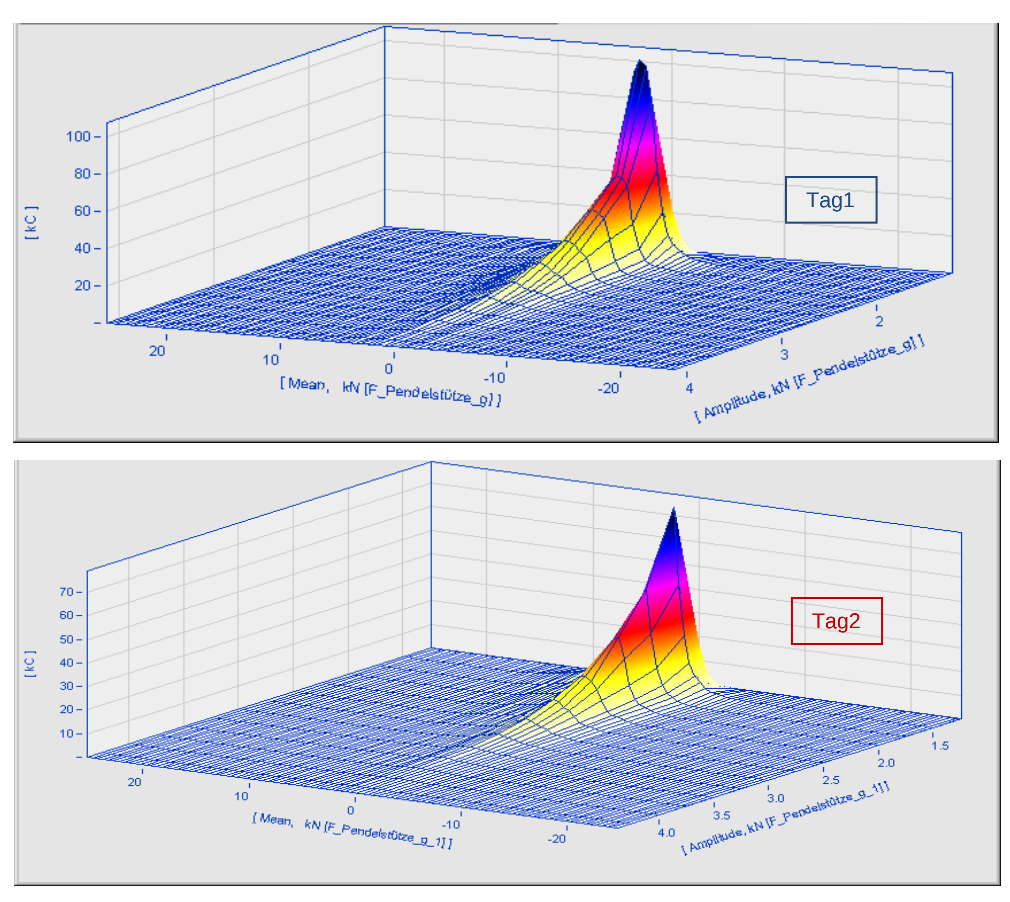
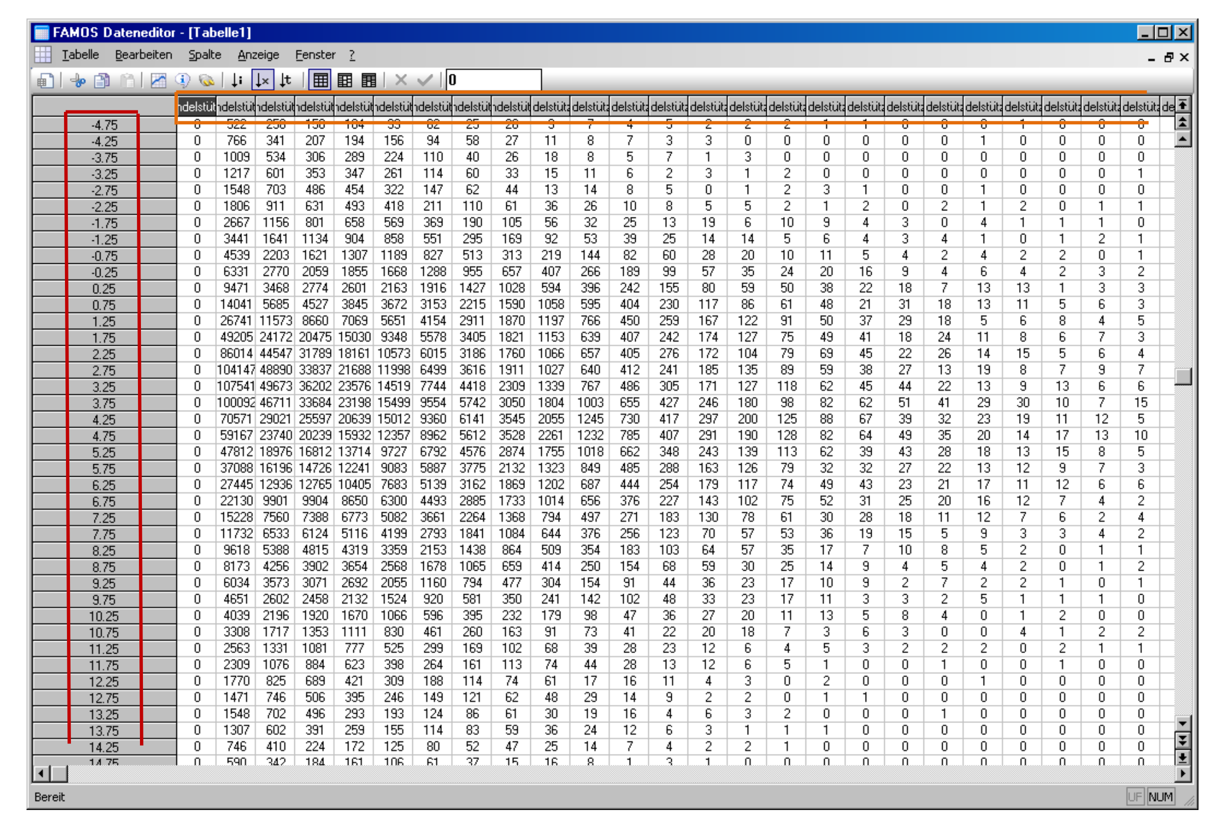


Abbildung 55: Rainflow 3D Amplituden – Mittelwert – Darstellung Tag 1 und Tag 2

Bei der zweiten Darstellungsmöglichkeit der 3D Amplituden Mittelwert Darstellung wird zu jedem Schwingspiel dessen Größe und der dazugehörige Mittelwert bestimmt. In der Ergebnismatrix wird zeilenweise die Größe des Schwingspiels und spaltenweise der dazugehörige Mittelwert klassiert. Im Schnittpunkt von der Klasse, der die Größe des Schwingspiels zugeordnet wird und der Klasse, der der dazugehörige Mittelwert zugeordnet wird, erfolgt pro Schwingspiel eine Zählung in der Ergebnismatrix. Schwingspiele die größer als „0“ und kleiner oder gleich einer Klassenbreite sind, werden zeilenweise in der Klasse „1“ gezählt. Schwingspiele, die größer als eine Klassenbreite und kleiner oder gleich zwei Klassenbreiten sind, werden zeilenweise in der Klasse 2 gezählt usw.

Da die vorgestellten drei Kurvendarstellungen dank ihrer grafischen Übersicht sehr gut geeignet sind, um sich einen ersten groben Eindruck zu verschaffen, jedoch für die Mitarbeiter der Berechnungsabteilung, die für die weitere Schadensakkumulation verantwortlich sind nicht Aussagekräftig genug ist, erfolgt die Übergabe der Daten in einer tabellarischen Form (s. Abb. 56).



	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	ndelstüt	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz	delstütz
-4.75	0	522	256	150	104	93	62	25	26	3	7	4	5	2	2	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0
-4.25	0	766	341	207	194	156	94	58	27	11	8	7	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
-3.75	0	1009	534	306	289	224	110	40	26	18	8	5	7	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-3.25	0	1217	601	353	347	261	114	60	33	15	11	6	2	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-2.75	0	1548	703	486	454	322	147	62	44	13	14	8	5	0	1	2	3	1	0	0	1	0	0	0	0
-2.25	0	1806	911	631	493	418	211	110	61	36	26	10	8	5	5	2	1	2	0	2	1	2	0	1	1
-1.75	0	2667	1156	801	658	569	369	190	105	56	32	25	13	19	6	10	9	4	3	0	4	1	1	1	0
-1.25	0	3441	1641	1134	904	858	551	295	169	92	53	39	25	14	14	5	6	4	3	4	1	0	1	2	1
-0.75	0	4539	2203	1621	1307	1189	827	513	313	219	144	82	60	28	20	10	11	5	4	2	4	2	2	0	1
-0.25	0	6331	2770	2059	1855	1668	1288	955	657	407	266	189	99	57	35	24	20	16	9	4	6	4	2	3	2
0.25	0	9471	3468	2774	2601	2163	1916	1427	1028	594	396	242	155	80	59	50	38	22	18	7	13	13	1	3	3
0.75	0	14041	5685	4527	3845	3672	3153	2215	1590	1058	595	404	230	117	86	61	48	21	31	18	13	11	5	6	3
1.25	0	26741	11573	8660	7069	5651	4154	2911	1870	1197	766	450	259	167	122	91	50	37	29	18	5	6	8	4	5
1.75	0	49205	24172	20475	15030	9348	5578	3405	1821	1153	639	407	242	174	127	75	49	41	18	24	11	8	6	7	3
2.25	0	86014	44547	31789	18161	10573	6015	3186	1760	1066	657	405	276	172	104	79	69	45	22	26	14	15	5	6	4
2.75	0	104147	48890	33837	21688	11998	6499	3616	1911	1027	640	412	241	185	135	89	59	38	27	13	19	8	7	9	7
3.25	0	107541	49673	36202	23576	14519	7744	4418	2309	1339	767	486	305	171	127	118	62	45	44	22	13	9	13	6	6
3.75	0	100092	46711	33684	23198	15499	9554	5742	3050	1804	1003	655	427	246	180	98	82	62	51	41	29	30	10	7	15
4.25	0	70571	29021	25597	20639	15012	9360	6141	3545	2055	1245	730	417	297	200	125	88	67	39	32	23	19	11	12	5
4.75	0	59167	23740	20239	15932	12357	8962	5612	3528	2261	1232	785	407	291	190	128	82	64	49	35	20	14	17	13	10
5.25	0	47812	18976	16812	13714	9727	6792	4576	2874	1755	1018	662	348	243	139	113	62	39	43	28	18	13	15	8	5
5.75	0	37088	16196	14726	12241	9083	5887	3775	2132	1323	849	485	288	163	126	79	32	32	27	22	13	12	9	7	3
6.25	0	27445	12936	12765	10405	7683	5139	3162	1869	1202	687	444	254	179	117	74	49	43	23	21	17	11	12	6	6
6.75	0	22130	9901	9904	8650	6300	4493	2885	1733	1014	656	376	227	143	102	75	52	31	25	20	16	12	7	4	2
7.25	0	15228	7560	7388	6773	5082	3661	2264	1368	794	497	271	183	130	78	61	30	28	18	11	12	7	6	2	4
7.75	0	11732	6533	6124	5116	4199	2793	1841	1084	644	376	256	123	70	57	53	36	19	15	5	9	3	3	4	2
8.25	0	9618	5388	4815	4319	3359	2153	1438	864	509	354	183	103	64	57	35	17	7	10	8	5	2	0	1	1
8.75	0	8173	4256	3902	3654	2568	1678	1065	659	414	250	154	68	59	30	25	14	9	4	5	4	2	0	1	2
9.25	0	6034	3573	3071	2692	2055	1160	794	477	304	154	91	44	36	23	17	10	9	2	7	2	2	1	0	1
9.75	0	4651	2602	2458	2132	1524	920	581	350	241	142	102	48	33	23	17	11	3	3	2	5	1	1	1	0
10.25	0	4039	2196	1920	1670	1066	596	395	232	179	98	47	36	27	20	11	13	5	8	4	0	1	2	0	0
10.75	0	3308	1717	1353	1111	830	461	260	163	91	73	41	22	20	18	7	3	6	3	0	0	4	1	2	2
11.25	0	2563	1331	1081	777	525	299	169	102	68	39	28	23	12	6	4	5	3	2	2	2	0	2	1	1
11.75	0	2309	1076	884	623	398	264	161	113	74	44	28	13	12	6	5	1	0	0	1	0	0	1	0	0
12.25	0	1770	825	689	421	309	188	114	74	61	17	16	11	4	3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
12.75	0	1471	746	506	395	246	149	121	62	48	29	14	9	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13.25	0	1548	702	496	293	193	124	86	61	30	19	16	4	6	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13.75	0	1307	602	391	259	155	114	83	59	36	24	12	6	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14.25	0	746	410	224	172	125	80	52	47	25	14	7	4	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.75	0	590	342	184	161	106	61	37	15	16	8	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 56: Ausschnitt einer Rainflowmatrix in Tabellarischer Form Tag 1

In Abb. 56 ist ein Ausschnitt der tabellarischen Korrelationsmatrix der Rainflowauswertung von Tag eins zu sehen. Dies ist zugleich die dritte Darstellungsmöglichkeit. Platzbedingt ließ sich der ganze Tabellenbereich leider nicht darstellen. Alle ausgewerteten Daten und Kurvenfenster sind jedoch Bestandteil dieser Arbeit und befinden sich in der Anlage 4. Der Vertikale, rot hinterlegte Bereich ist die positive, sowie negative Verteilung der 100 Klassen über deren Mittelwert zwischen der Maximalamplitude. Der horizontal, orange hinterlegte Bereich ist die Aufteilung der 100 Klassen in 0,26 Kilonewton Schritte und stellt die jeweiligen Amplituden da. Anhand dieser sehr übersichtlichen Darstellung lassen sich alle Schwingspiele der jeweiligen Klassen bequem und komfortabel anhand der einzelnen Zellen auslesen und für die weitere Schadensakkumulation des Bauteils nutzen. An dieser Stelle ist die Schnittstelle zwischen Versuch und Berechnung. Die Daten werden in dieser tabellarischen Korrelationsmatrix Darstellungsform an die Berechnungsabteilung übergeben. Für alle weiteren Auswertungen ist nun die Berechnungsabteilung verantwortlich. Natürlich steht der Versuch für weitere beratende Tätigkeiten in Zusammenhang mit den Messungen weiterhin zur Verfügung.

8.4 Bogenradienabhängige Rainflowauswertung

Im folgenden Abschnitte wird die bogenradienabhängige Rainflowauswertung über der Zeit anhand des während der Entwicklung verwendeten Testdatensatzes vorgestellt. Hier ist noch zu erwähnen, dass es sich um kein im Vorfeld kalibriertes System handelt. Somit werden alle Ergebnisse nicht wie in Kapitel 8.2 in Kilonewton, sondern in Pascal die Si – Einheit der mechanischen Spannung angegeben. Ein Pascal ist der Druck, den eine Kraft von einem Newton auf eine Fläche von einem Quadratmeter ausübt. Dieses Ergebnis wird erzielt, indem das aufgezeichnete Spannungsverhältnis der DMS mit dem E - Modul[23] des untersuchten Bauteilmaterials multipliziert wird.

Als erstes galt es wieder die Startsequenz zu laden und alle Parameter so zu setzen, dass die Auswertung gestartete werden kann. Das erfolgte in diesem Fall mit der bogenradienabhängigen Auswertung, wie folgt:

- Zeile ist Startklasse und Mittelwert
- Auswertung über Amplitude und Mittelwert
- offene Randklassen
- Auswertung nach 4 Punkt Base Algorithmus
- Residuum als ganzen Schwingspiel Zählen
- kleine Spannen werden ignoriert
- Spannen werden Präzise berechnet
- Start und Endwert nicht als Extremwert zählen
- Bogenradienabhängige Rainflowauswertung über der Zeit aktiv
- Offset Entfernung aktiviert
- keine TP Filterung des Wegkanals
- Filterung nach Standardbogenradienklassen
- keine Filterung des DMS Pendelstütz Kanals
- keine separate Empfindlichkeit und Einheitenvergabe
- Aufteilung zwischen den Extremwerten in 100 Klassen

Im nächsten Schritt wurde die Startsequenz gestartet, um die Berechnung durchlaufen zu lassen.

---

[23] ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt.

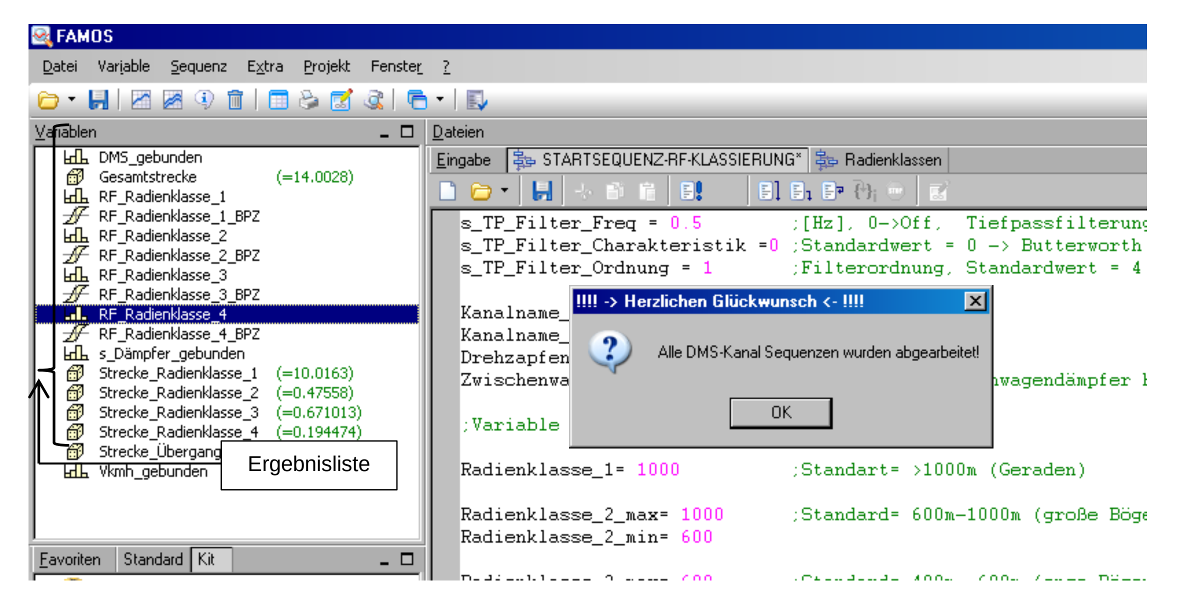


Abbildung 57: Ergebnisliste Bogenradienabhängige Rainflowauswertung

In der Ergebnisliste sind alle Ergebnisse der Bogenradienberechnung zu sehen. Es werden die jeweils gefahrenen Kilometer als Gesamtstrecke ausgegeben, sowie die einzelnen gefahrenen Bogenradien - Kilometer der jeweiligen Klassen und die zurückgelegte Strecke in den Übergangsbögen. Die eingeladenen Rohdaten bleiben auch hier wieder erhalten.

Gesamtstrecke

Datei Bearbeiten Konfiguration Optionen Extras

Gesamtstrecke	=	14.0028 km
Strecke_Radienklasse_1	=	10.0163 km
Strecke_Radienklasse_2	=	0.4756 km
Strecke_Radienklasse_3	=	0.6710 km
Strecke_Radienklasse_4	=	0.1945 km
Strecke_Übergangsbögen	=	2.5890 km

Abbildung 58: Streckenberechnung

Des Weiteren werden die vier Bereichspaarzählungen wie in der Startsequenz eingestellt als Ergebnis „RF_Radienklassen_1_BPZ“ bis „RF_Radienklassen_4_BPZ“ ausgegeben. Anhand dieser ausgewerteten Daten kann jetzt die Belastung der zu untersuchenden Komponente in den einzelnen Bogenradien beurteilt werden. In den Bereichspaarzählungen der vier Radienklassen lässt sich, wie auch schon in Kapitel 8.2 erwähnt, schnell und komfortabel ein erster Überblick über die Schwingspielverteilung treffen.

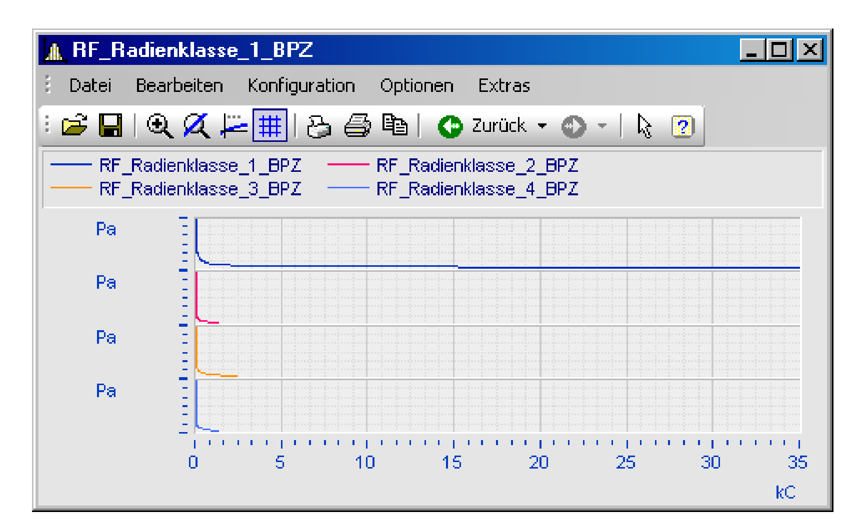


Abbildung 59: Bereichspaarzählung Bogenradienklassen

Als wichtigstes Beurteilungskriterium werden auch hier die Rainflowberechnungen der Bogenradien ausgegeben. Dies erfolgt in der Ergebnisliste als „RF_Radienklassen_1 bis „RF_Radienklassen_4“. Anhand dieser lassen sich auch hier wieder die drei Darstellungsmöglichkeiten 2D Standardansicht, 3D Amplituden Mittelwert und Korrelationsmatrix darstellen. Die jeweiligen Übersichten sind analog zu den in Kapitel 8.2 explizit vorgestellten Darstellungsmöglichkeiten zu verstehen.

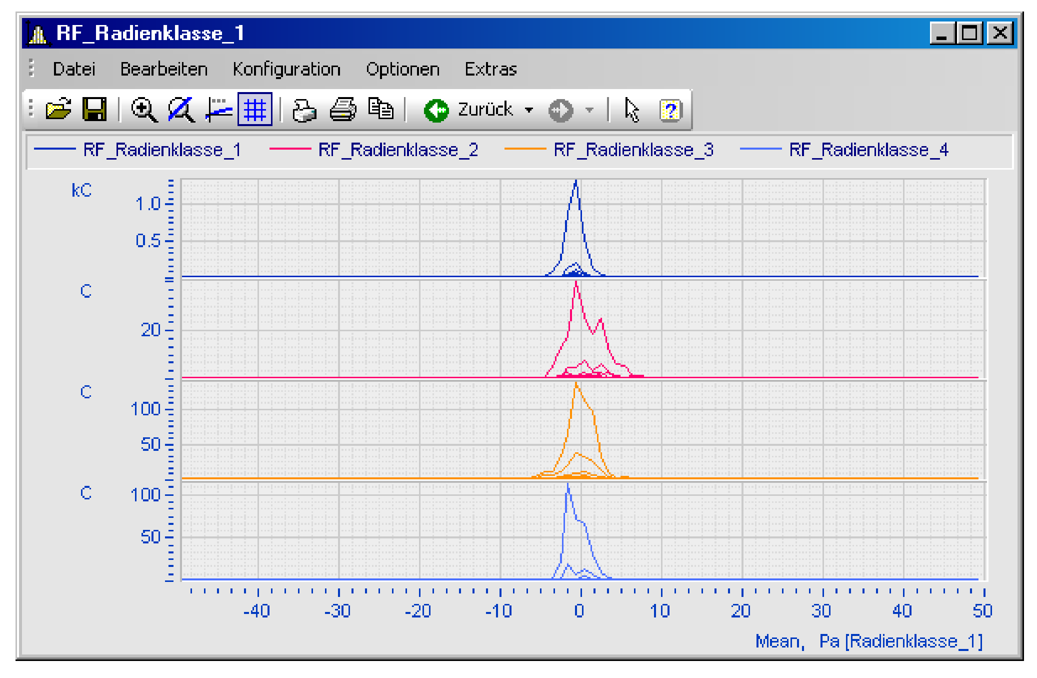


Abbildung 60: Bogenradienklassen Rainflow 2D Standardansicht

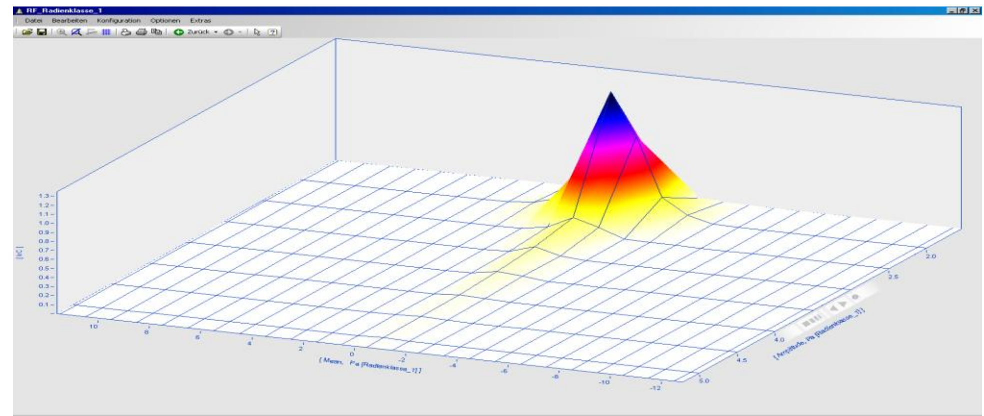


Abbildung 61: Rainflow 3D Amplituden Mittelwert Darstellung Radienklasse 1

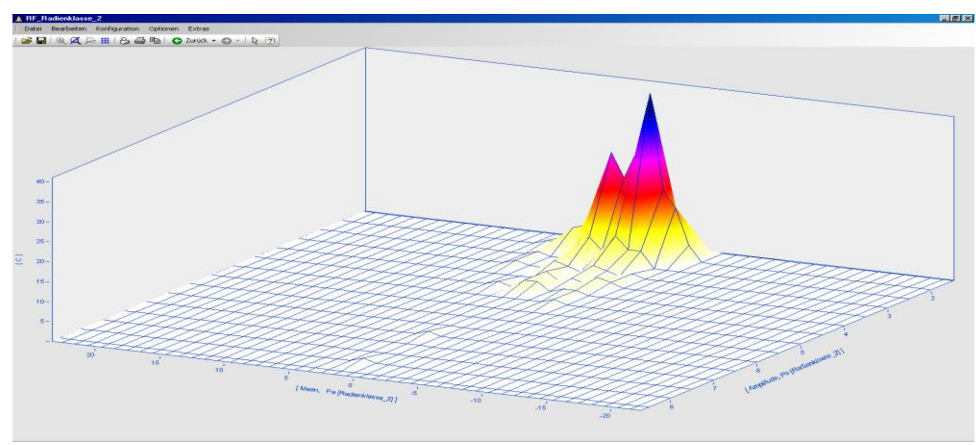


Abbildung 62: Rainflow 3D Amplituden Mittelwert Darstellung Radienklasse 2

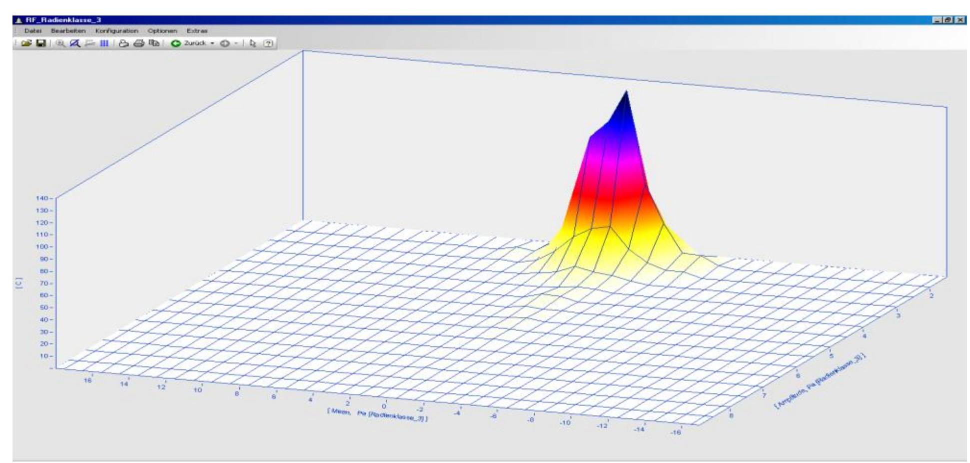


Abbildung 63: Rainflow 3D Amplituden Mittelwert Darstellung Radienklasse 3

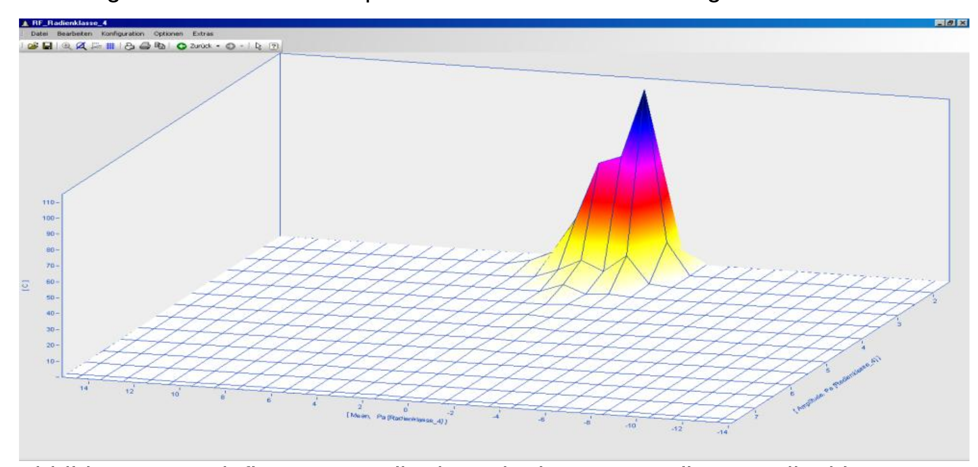


Abbildung 64: Rainflow 3D Amplituden Mittelwert Darstellung Radienklasse 4

9 Zusammenfassung und Ausblick

Das Kapitel 9 soll noch einmal die Ergebnisse der einzelnen Kapitel zusammenfassen und zusätzlich ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen gegeben.

9.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die experimentelle Lebensdaueruntersuchung an Schienenfahrzeugkomponenten beschrieben. Dies erfolgte Anhand einer Pendelstütze vom Getriebe eines LINT 41 und der Entwicklung einer vollautomatischen Rainflowklassierungs Auswertesequenz mittels der IMC – Famos eigenen Programmiersprache. Außerdem sollte es nicht nur möglich sein, für die gesamte Messstrecke eine Rainflowklassierung anhand der Auswertesequenz vorzunehmen, sondern auch für die im Schienenfahrzeugsektor üblichen vier Bogenradienklassen einer Kurvenfahrt. Diese erweiterte Art der Auswertung bietet die Möglichkeit, den Belastungspegel des Bauteils ausschließlich in den vier einzelnen Bogenradien zu beurteilen.

Zu Beginn der Arbeit wurden zur Einführung die grundlegenden Begriffe und die theoretischen Möglichkeiten einer Klassierung vorgestellt. Es wurden die einzelnen Zählverfahren und deren mathematischer Hintergrund erläutert, die einem im Zusammenhang mit einer Lebensdaueruntersuchung zur Verfügung stehen. Des Weiteren wurde explizit auf die Schadensakkumulation anhand der Rainflowklassierung eingegangen.

Als nächsten Punkt wurde der ALSTOM Konzern und der Transportsektor vorgestellt, sowie die Umsetzung einer Lebensdaueruntersuchung von Schienenfahrzeugkomponenten im Unternehmen. Daraufhin wurden das Fahrzeug und die zu untersuchende Komponente vorgestellt, sowie auf dessen technischen Hintergrund eingegangen.

In einem eigenen Kapitel beschäftigte man sich mit der Versuchsvorbereitung. Es wurde sich mit der Vorbereitung der Pendelstütze auseinandergesetzt. Dazu galt es, sich mit dem Messen mit der wheatstoneschen Messbrücke und deren mathematischen Hintergrund vertraut zu machen. Daraufhin wurde sich für die Anwendungsart der Brückenschaltung nach dem Prinzip des Zug/Druckstabes entschieden. Dies spiegelte genau den Fall der Pendelstütze wieder. Das Ergebnis des Anwendungsprinzips konnte als Grundlage für die Auswahl geeigneter DMS und deren Anschlußart verwendet werden. Bei der Installation der DMS war es wichtig, die herstellerspezifischen Installationshinweise mit

höchster Sorgfalt zu beachten. Bei der Kalibrierung der Pendelstütze war es wichtig, im Vorfeld eine theoretische Betrachtung und eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Anhand dieses Verfahrens war es möglich, den experimentell gemessenen Kalibrierfaktor auf Plausibilität zu überprüfen.

Nun folgte die Datenakquisition. Darin wurde auf die verwendetet Messtechnik und den Versuchsaufbau eingegangen. Des Weiteren wurde die Messsoftware und die verwendeten Einstellungen für die eingesetzte Messtechnik vorgestellt. Daraufhin erfolgte die Streckenauswahl für die Messfahrt und die Durchführung des Messaufbaus am eingesetzten Fahrzeug sowie die Messfahrt.

Nachdem die grundlegenden Vorbereitungen abgeschlossen waren, wurde sich mit der Entwicklung der Auswertesequenz befasst. Hierzu wurde ein Einblick auf die verwendetet Auswertesoftware gewährt, der Programmablaufplan vorgestellt und alle für die Entstehung notwendigen Schritte der Auswertesequenz explizit vorgestellt.

Als letzten Schritt dieser Arbeit, wurde die Auswertung aller Messsignale anhand der entwickelten Auswertesequenz vorgestellt. Dazu mussten die Messsignale im Vorfeld auf unplausible Vorkommnisse im Signal untersucht werden und die Sequenz angewendet werden. Daraufhin wurden die Ergebnisse anhand der verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten präsentiert und die Datenübergabe an die Berechnungsabteilung erläutert.

9.2 Ausblick

Die Ergebnisse der Rainflowauswertung sind eine gute Datenbasis für die Berechnungsingenieure. Es ermöglicht ihnen die Daten für die weitere Auswertung und Weiterverarbeitung in ein Programm zur Berechnung der Wöhlerkurve zu überführen. Mit der Wöhlerkurve wird die Schwingfestigkeit, genauer die Zeitfestigkeit und Dauerfestigkeit von Bauteilen ermittelt. Es ermöglicht den Berechnungsingenieuren die Lebensdauer zu bestimmen.

Mittelfristig wäre es denkbar, die Rainflow Auswertesequenz so zu erweitern, dass die Wöhlerkurve mit in die Auswertesequenz implementiert wird. Dies hätte den Vorteil, dass die gesamte Lebensdauerbestimmung mit ein und derselben Software realisiert werden könnte. Dies würde ein Einlesen der Daten in eine weitere Software erübrigen und die damit verbundenen, möglichen Einlese - und Übergabefehler vermeiden.

Quellen und Literaturverzeichnis

[KH87] Karl, Hoffmann: Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnungsmessstreifen , HBM Hottinger Baldwin Messtechnik 1987

[PG94] Peter, Giesecke: Dehnungsmessstreifentechnik Grundlagen und Anwendungen in der industriellen Messtechnik, Vieweg Verlagsgesellschaft; Auflage: 1994 (6. Mai 1994)

[MS08] Manuela, Sander: Sicherheit und Betriebsfestigkeit von Maschinen und Anlagen: Konzepte und Methoden zur Lebensdauervorhersage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2008.

[DR03] Dieter, Radaj / Michael Vormwald: Ermüdungsfestigkeit, Gabler Wissenschaftsverlag: 2.Auflage 2003

[VL04] Volker, Läpple: Einführung in die Festigkeitslehre, Vieweg+Teubner Verlag: 2008

[mc] Martin Brokate, Klaus Dreßler, Pavel Krejci;
Rainflow Counting and Energy Dissipation for
Hysteresis Models in Elastoplasticity
http://www.math.cas.cz/~krejci/b19.pdf, verfügbar am 28.02.2012

[Clor85] Clormann, U.H., Seeger, T.: Rainflow-HMC: Ein Hysteresis-Schleifen-Zählalgorithmus auf werkstoffmechanischer Grundlage, TH Darmstadt 1985

[DIN 45667] DIN 45667 Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Festlegungsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen, Oktober 1969

[DIN EN 13479] DIN EN 13749 Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS); Deutsche Fassung EN 50126:1999, Berichtigung zu DIN EN 50126 (VDE 0115-103):2000-03; Deutsche Fassung CENELEC-Cor. :2010 zu EN 50126:1999

[DIN EN 17025] DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005)

[DIN EN 13749) Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Festlegungsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen; Deutsche Fassung EN 13749:2011

[IMC-Man/1] imc Meßsysteme GmbH, Voltastrasse 5, 13355 Berlin
imc Berlin CANSAS Benutzerhandbuch
imc CANSAS 1.7 Handbuchversion 1.7, Rev 2 Bedienerhandbuch.pdf, 07.04.2011

[IMC-Man/2] imc Meßsysteme GmbH, Voltastrasse 5, 13355 Berlin
imc Berlin busDAQ Benutzerhandbuch
imc busDAQ CAN Datalogger Version 2.1 Rev 5 Original Betriebsanlei tung.pdf, 16.09.2011

[IMC-Man/3] imc Meßsysteme GmbH, Voltastrasse 5, 13355 Berlin
imc – Berlin Bedienungsanleitung Klassierpaket
imc im7clsc0 Funktions-Referenz Klassierpaket.pdf, unbekannt

[Loc12] https://online.alstom.com/Locations/Germany/Über%20Alstom/Pages/ÜberAlstom.aspx , April 2012

[AR2012] Anwendungsrichtlinie für Streckenversuche nach DIN EN 13749 Version 4, April 2012

[WIKIP] http://de.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language, 20.12.2011.12.00Uhr

[WIKIP/1] http://de.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language 05.04.2012.15:56Uhr

[IMC] imc Meßsysteme GmbH, Voltastrasse 5, 13355 Berlin Internetpräsenz http://www.imc-berlin.de/messtechnik/index.phtml, März 2012

[IMC/1] http://www.imc-berlin.de/messtechnik/index.phtml?zISID=980392b2efb17913e0bf78863d18630c&a=search&s_words=cronos&submit=Suchen, 2012

[ZF] http://www.zf.de, März 2012

[ATD] www.alstom.com/germany/de/locations/salzgitter

[ATD/1] www.alstom.com/transport/products-and-services/rolling-stock/coradia-regional-trains/

[ATD/2] ALSTOM Transport Deutschland/ Salzgitter/ Intranet products

[ATD/3] ALSTOM Transport Deutschland Drehgestellkonstruktion (Catiamodell)

[KML] [http://de.wikipedia.org/wiki/Keyhole_Markup_Language]

Anlagen

Anlagen, Teil 1

Die folgende Darstellung zeigt die Bedienungsanleitung der in Kapitel 7 entwickelten Auswertesequenz.

Dokumentation Rainflowtool

Basics

Als wichtigstes Verfahren der Klassierung hat sich heute die Bereichspaar-Mittelwert- bzw. Rainflow-Zählung durchgesetzt, sie gehört zu den zweiparametrischen Zählverfahren, aus deren Ergebnis (Rainflow-Matrix) auch die für die Praxis bedeutendsten einparametrischen Ergebnisse: Klassengrenzenüberschreitungen (level crossing) und Bereichspaare (range pairs) sowie die Ergebnisse der Spitzenzählung (peak counting) eindeutig ableitbar sind. Der Reihenfolgeeffekt und der Frequenzeinfluss werden jedoch nicht erfasst.

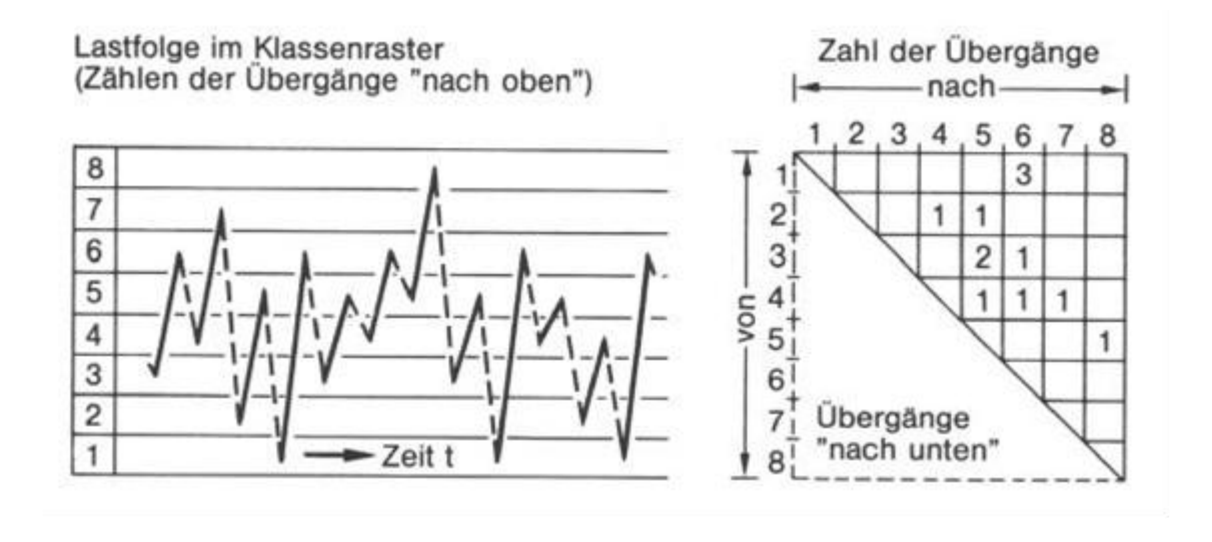


Abbildung 1: Zweiparametrisches Klassierverfahren, Zuordnung der Umkehrpunkte der Last-Zeit-Funktion zu Ausgangs- und Zielklassen, Zählung der Übergangshäufigkeiten und Darstellung in einer Matrix

Dem Rain-Flow-Verfahren entwickelt von Matsuishi und Endo und (unabhängig) von de Jonge liegt folgende Modellvorstellung zugrunde: Das zu klassierende Signal ist so zu

betrachten, dass in einem Koordinatensystem die Zeitachse vertikal gerichtet ist. Es wertet die Dehnungs-Zeit-Funktion in grafischer Analogie zum (in Japan geläufigen) "Regenwasserfluss von Pagodendach aus. Dieser Vorgang erfasst die Hysteresenschleifen (s. Abb.2).

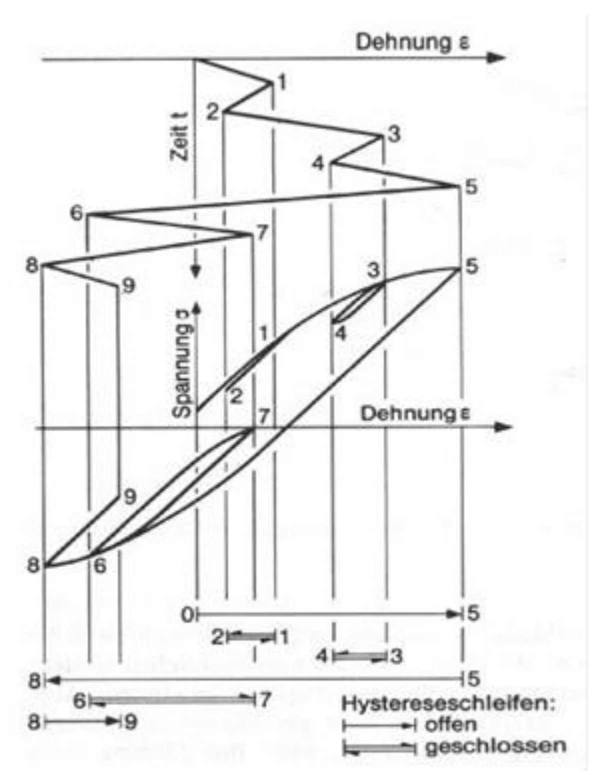


Abbildung 2: Zweiparametriges Klassierverfahren Rainflow-Zählung, Beziehung zwischen Dehnungs-Zeit-Funktion, zyklischem Werkstoffverhalten und gezählten Hystereseschleifen.

Die Schwingbreiten zwischen den Extremwerten des Signals, die die gleiche Richtung aufweisen, werden als eine aufeinanderfolge von Dächern angesehen. Von der Innenseite jedes Extremwerts soll nacheinander Regen fließen. Dieser Regenablauf bestimmt die Zählvorschrift.

Es gelten folgende Regeln:

- Auf der Innenseite jeder Spitze beginnt ein Zählvorgang.
- Ein Zählvorgang ist beendet, wenn ausgehend von einem Minimum, ein betragsmäßig größeres Minimum erreicht wird,
- oder, ausgehend von einem Maximum, ein betragsmäßig größeres Maximum erreicht wird.
- Ein Zählvorgang endet ebenfalls, wenn der Zählvorgang auf den Verlauf eines Zählvorgangs einer vorgehenden Spitze trifft.

Jeder Regenwasserfluss vom Anfangs- bis zum Endpunkt wird als Halbzyklus gewertet. Halbzyklen gleicher Größe, aber entgegengesetzter Richtung ergeben einen vollen Zyklus. Jeder volle Zyklus entspricht einer geschlossenen Hystereschleife. Die in Pfeilspitzen endenden Regenwasserflüsse am unteren Diagrammrand entsprechen offenbleibenden Halbschleifen.

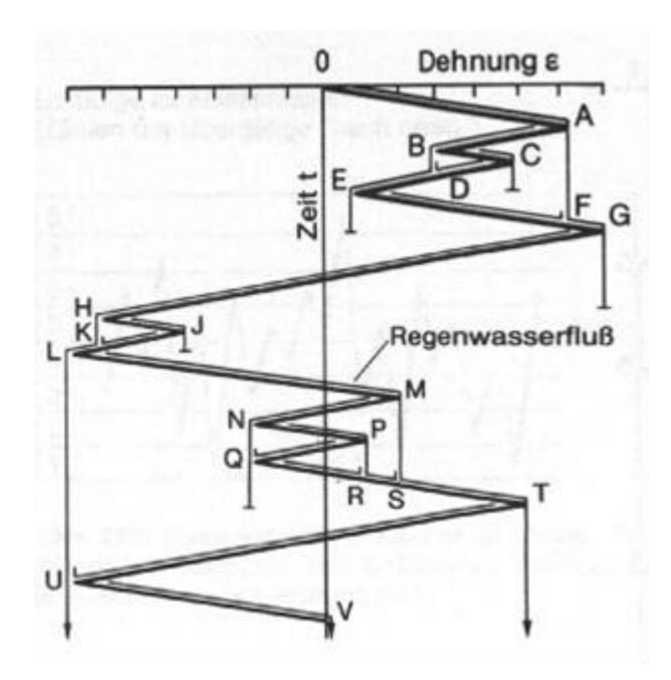


Abbildung 3: Rainflow-Zählung, Regenwasserflüsse zwischen Ausgangs- und Endpunkt

In der Übergangsmatrix werden dann die zwischen Start und Endpunkt geschlossenen Schleifen dokumentiert. Aus dieser Matrix lassen sich dann die herkömmlichen Kollektive der Klassengrenzenüberschreitung und Bereichspaare herleiten. Andersherum ist dies leider nicht möglich. Die Schleifen die nicht geschlossen wurden, bilden das Residuum. Wenn die Zählung jedoch beim betragsmäßigen Dehnungswert beginnt und auch wieder endet, wird kein Residuum gebildet. Sollte das Residuum nicht von alleine verschwinden, werden die nicht geschlossenen Schleifen künstlich geschlossen und der Übergangsmatrix hinzugerechnet. Matrizen aufeinanderfolgender Beanspruchungsabläufe werden einfach addiert. Eine Extrapolation bei nicht ausreichenden Messdaten ist nicht zu empfehlen. Ein zuverlässigeres Verfahren ist es, ein repräsentatives Versuchsprogramm vorzubereiten, um gezielte Analysen treffen zu können.

Vorbereitende Maßnahmen (Kanalvorverarbeitung)

Um bestmögliche Ergebnisse während der Klassierung zu erzielen, bedarf es einiger Grundkenntnisse im Umgang mit Famos. Dies ist notwendig, um die zu klassierenden Kanäle einer Kanalvorverarbeitung zu unterziehen.

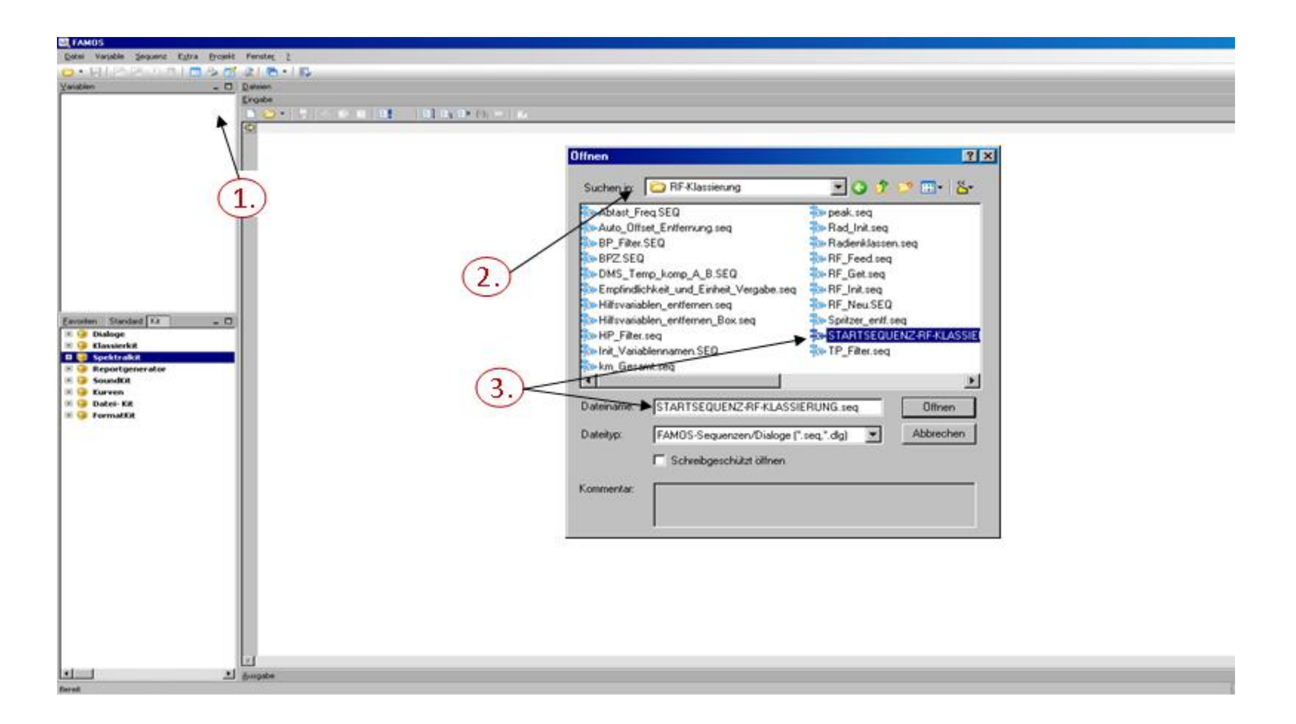
Darunter ist zu verstehen, dass die Rohdaten im Vorfeld bestmöglich auf unerwartete bzw. ungewollte Einflüsse untersucht werden, die durch geeignetes Filtern zu eliminieren sind. Des Weitere sollte der Offset entfernt werden, da einige Tests im Vorfeld gezeigt haben, das dieser einen großen Einfluss auf die Klassierung hat. Als letzten Punkt müssen noch die Extremwerte analysiert werden. Diese Werte werden im Anschluss in der Startsequenz der Klassierung benötigt.

Die Kanalvorverarbeitung kann natürlich auch das Auswertetool übernehmen. Aber dabei sollte jedem Benutzer klar sein, dass eine intensive Auseinandersetzung mit den Messdaten im Vorfeld immer bessere Ergebnisse erzielen wird, als die automatische Kanalvorverarbeitung im Auswertetool anzuwenden.

Userguide

Nachdem das Tool aus dem SVN – Archiv ordnungsgemäß heruntergeladen wurde, ist IMC-Famos zu starten.
Als nächsten Schritt muss die Startsequenz geöffnet werden. Dazu muss wie folgt vorgegangen werden:

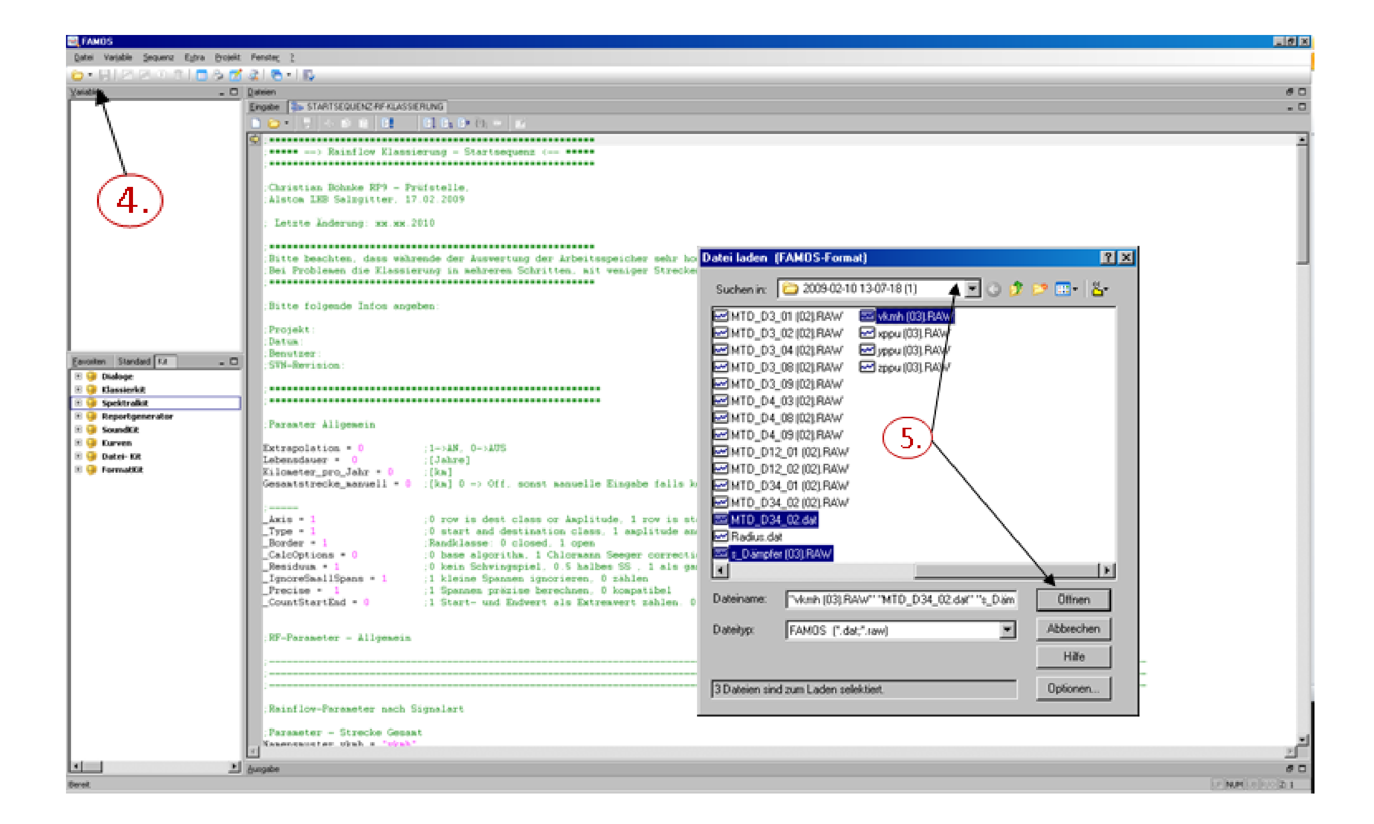
1. Ordner öffnen auswählen.
2. Verzeichnis heraussuchen unter dem das Tool aus dem SVN abgespeichert wurde.
3. Startsequenz – RF – Klassierung auswählen und öffnen.



Nachdem die Startsequenz ordnungsgemäß geladen wurde, müssen die zu klassierenden Kanäle geladen werden.

4. Ordner öffnen auswählen

5. Die zu klassierenden Daten aus dem entsprechendem Projektverzeichnis auswählen und öffnen. (!!! Immer auch Vkmh und Zwischenwagendämpferweg mit öffnen!!!)



6. Bitte die Startsequenz wie nachfolgend gezeigt abarbeiten

Fenster ?

Dateien

Eingabe STARTSEQUENZ-RF-KLASSIERUNG*

```
;*******************************************************
;***** --> Rainflow Klassierung - Startsequenz <-- *****
;*******************************************************

;Christian Böhnke RP9 - Prüfstelle,
;Alstom Transport Deutschland GmbH Salzgitter, 17.02.2011

; Letzte Änderung: 17.02.2012

;*******************************************************
;Bitte beachten, dass währende der Auswertung der Arbeitsspeicher sehr hoch ausgelastet sein kann.
;Bei Problemen die Klassierung in mehreren Schritten, mit weniger Streckenabschnitten abarbeiten.
;*******************************************************

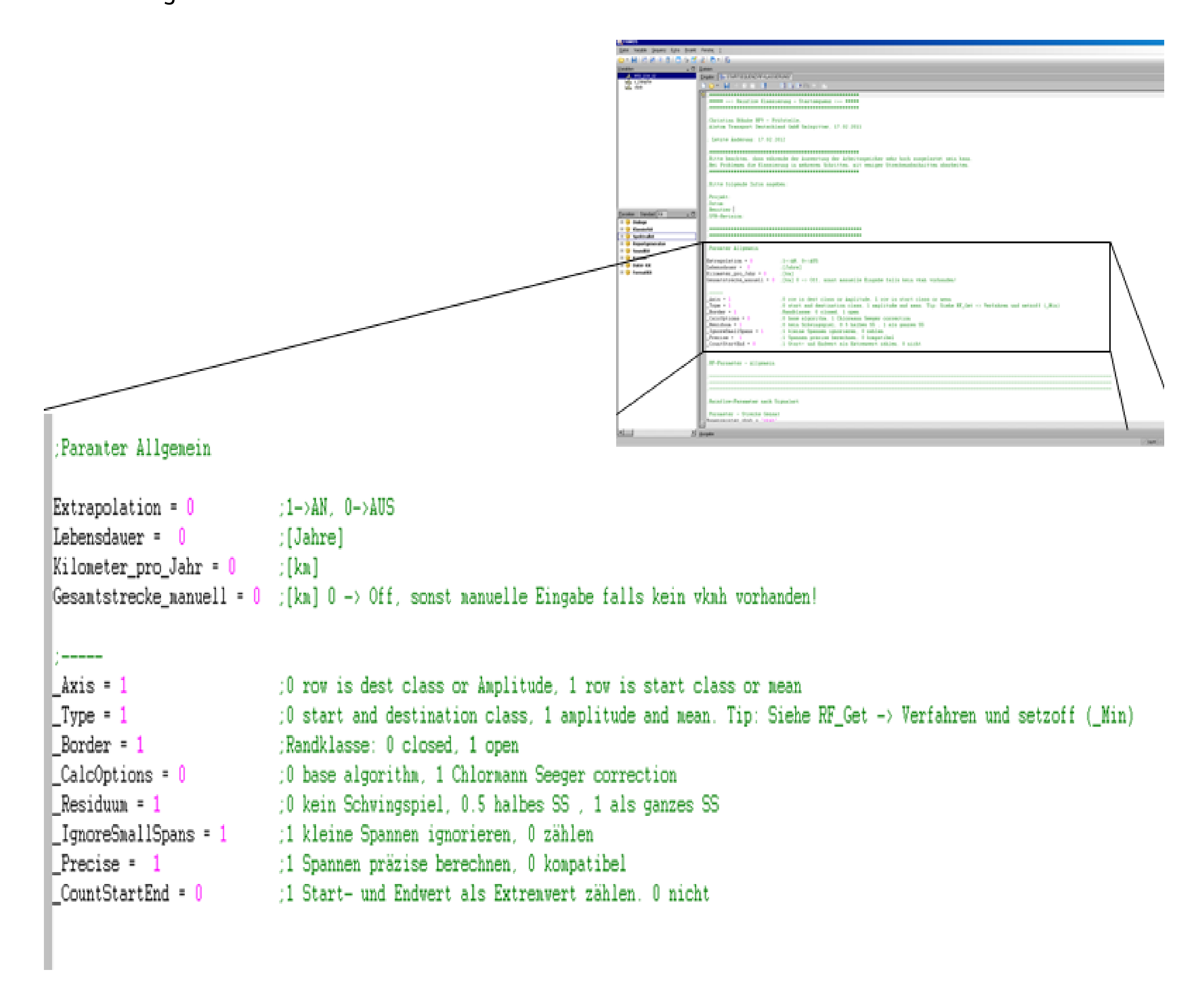
;Bitte folgende Infos angeben:

;Projekt:
;Datum:
;Benutzer:
;SVN-Revision:

;*******************************************************
;*******************************************************
```

Hier bitte unbedingt die folgenden Infos angeben

Im Regelfall ist an diesen Parametern keine weitere Einstellung erforderlich und sie bleibt auf den voreingestellten Werten stehen.



0.

Hier kann eingestellt werden, ob die Klassierung nach Radienklassen aktiviert werden soll.

1. + 2.

Hier kann eingestellt werden ob die Radienklassen über der Zeit oder dem Weg berechnet werden sollen.

3.

Hier kann die automatische Offset – Korrektur aktiviert werden.

4.

Hier wird die TP-Filterfrequenz eingestellt.

5.

Hier wird die Filtercharakteristik eingestellt.

6.

Hier wird die Filterordnung eigestellt

7.

Hier ist der Kanalname einzutragen, sowie er bei der Messung genannt wurde.

8.

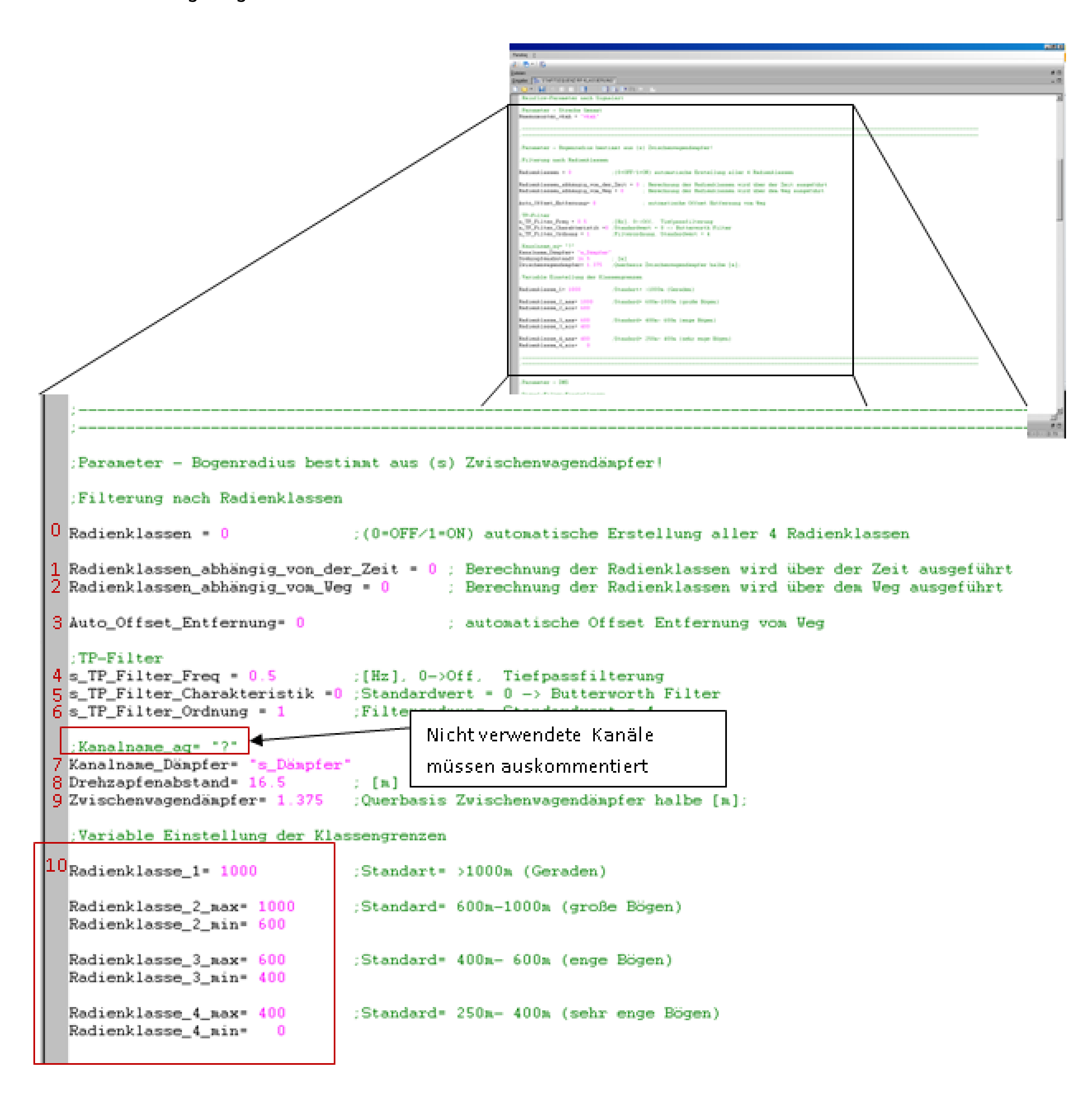
Hier ist der Drehzapfenabstand des Fahrzeuges einzutragen

9.

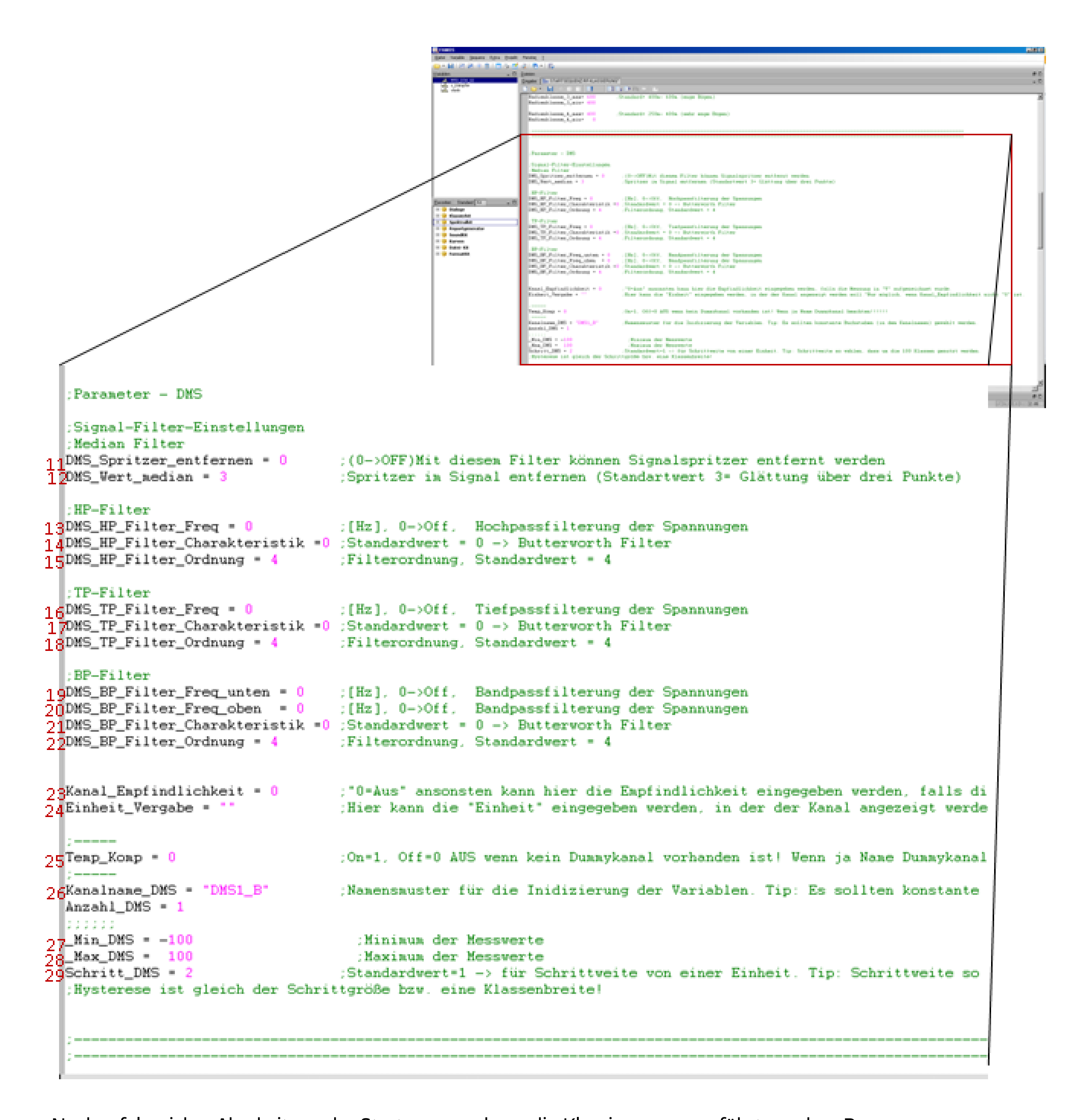
Hier muss die halbe Querbasis der Zwischenwagendämpfer eingetragen werden. Diese Angabe ist von Fahrzeug zu Fahrzeug unterschiedlich.

10.

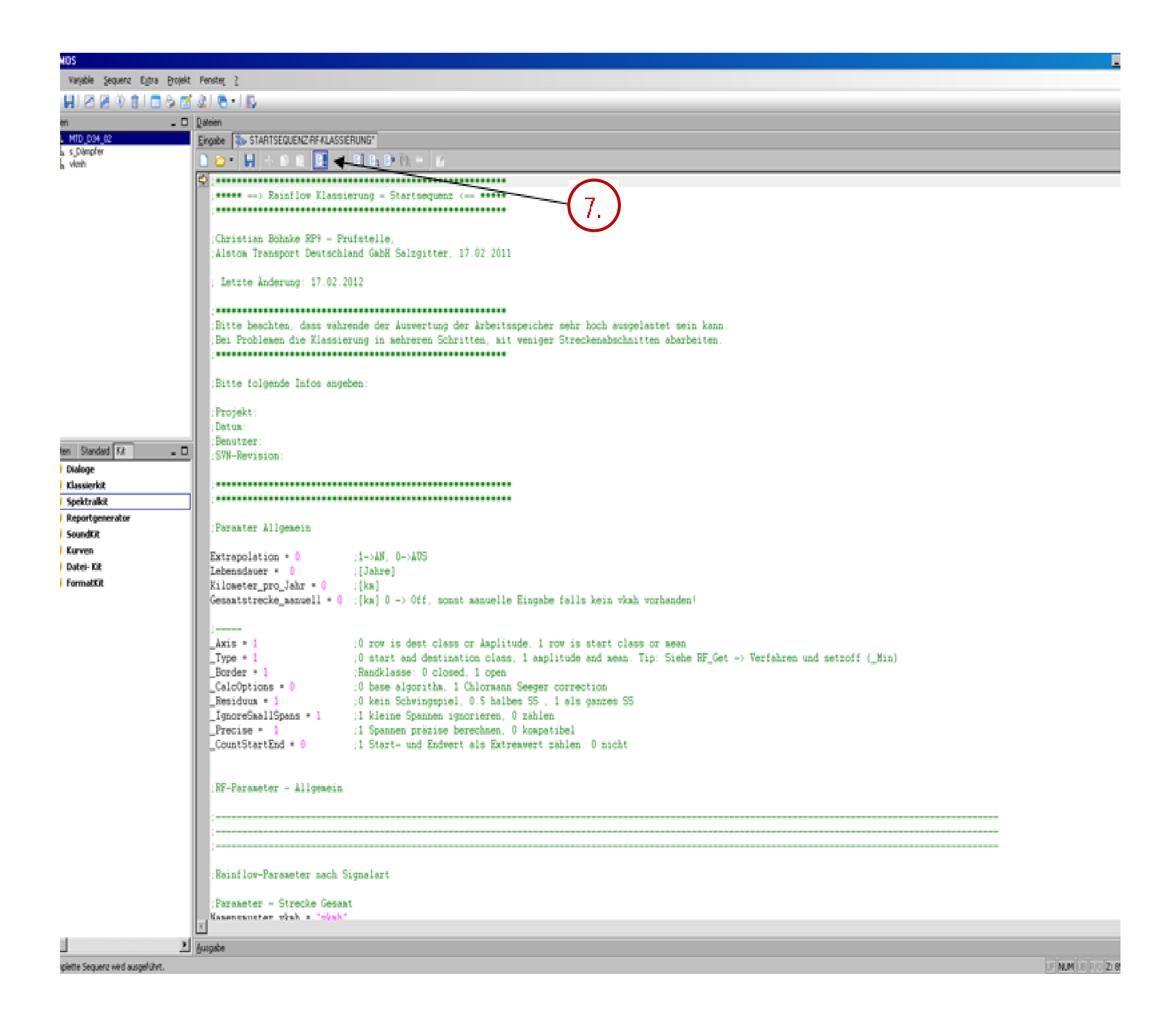
Hier sind die Standardmäßig voreingestellten Radienklassengrenzen zu sehen. Diese können jedoch auch variabel eingetragen werden.

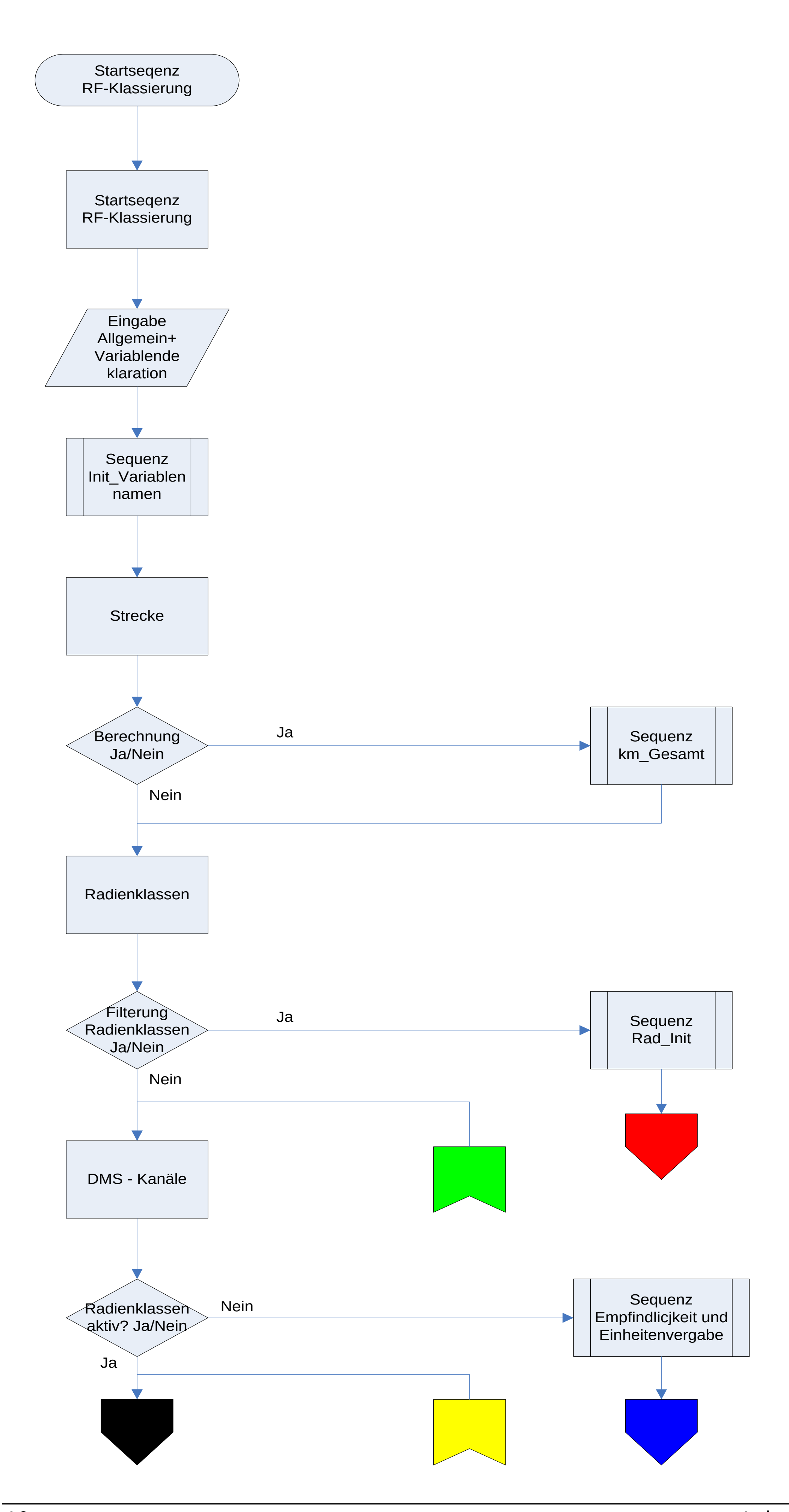


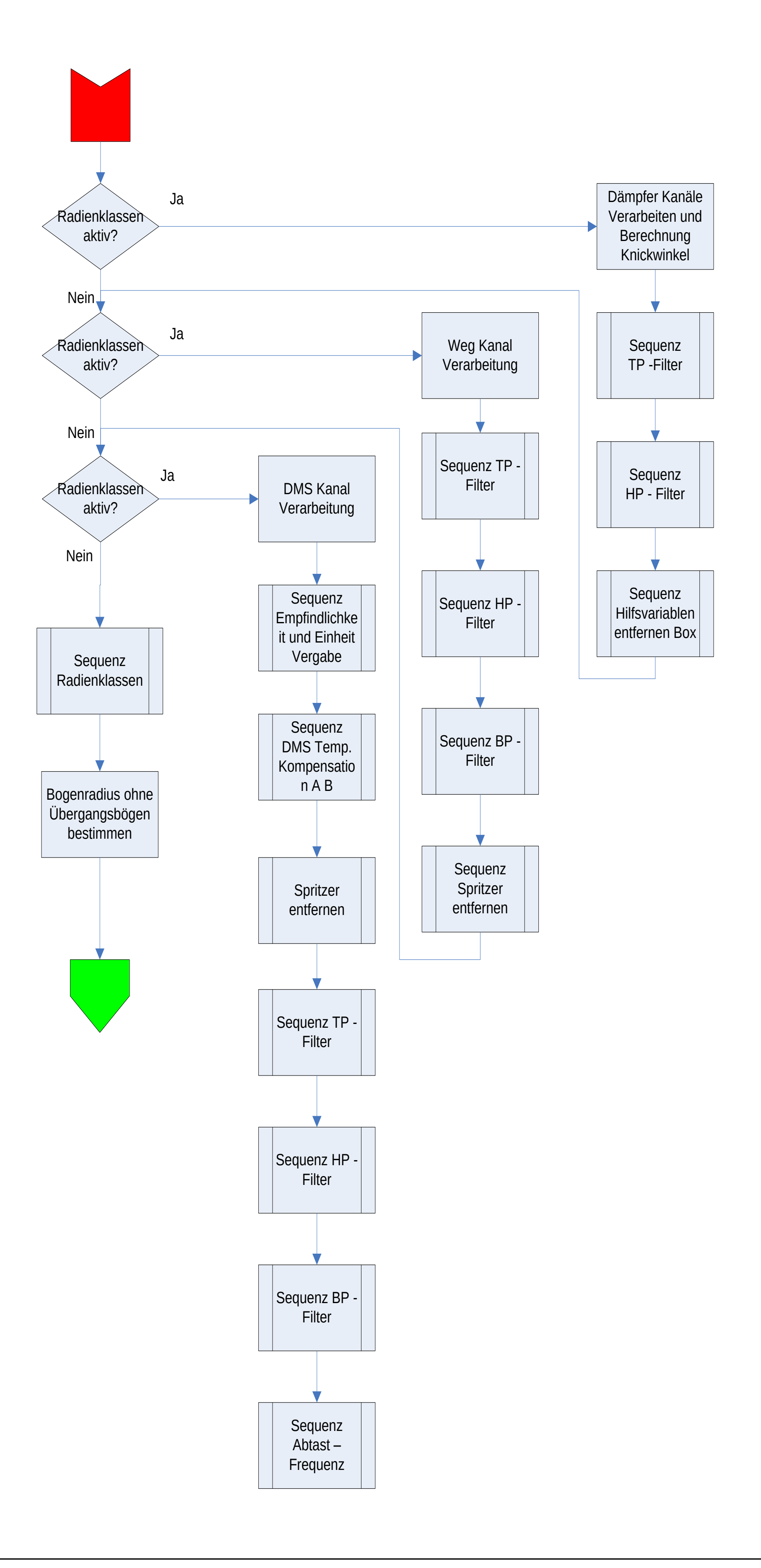
11.
Mit dieser Funktion können Spritzer aus dem Signal entfernt werden.
12.
Hier kann der Wert eingestellt werden, mit dem die Glättung ausgeführt werden soll.
13.
Hier kann die Hochpassfilterfrequenz eingestellt werden.
14.
Hier können Sie die Filtercharakteristik einstellen.
15.
Hier können Sie die Ordnung des Filters einstellen.
16.
Siehe Punkt 13 HP-Filter
17.
Siehe Punkt 14 HP-Filter
18.
Siehe Punkt 15 HP-Filter
19.
Hier können Sie die untere Filterfrequenz einstellen
20.
Hier können Sie die obere Filterfrequenz einstellen
21.
Siehe Punkt 14 HP-Filter
22.
Siehe Punkt 15 HP-Filter
23.
Falls der der gemessene Kanal in „V“ aufgenommen wurde, kann hier die Empfindlichkeit eingetragen werden.
24.
Hier kann eine Einheit eingetragen werden, in der der Kanal später angezeigt werden soll.
25.
Mit dieser Funktion kann die Temperaturkompensation ein/aus geschaltet werden. Nur bei Messungen mit Dummy von Bedeutung
26.
Bitte hier den genauen Kanalnamen „wie bei der Messung verwendet“ eintragen
27.+28.
Bitte hier die Extremwerte aus der zuvor erfolgte Kanalvorverarbeitung eintragen
29.
Hier wird die Schrittweite der Klassierung eingetragen. Bestmöglich so zu wählen, das immer 100 Klassen genutzt werden.



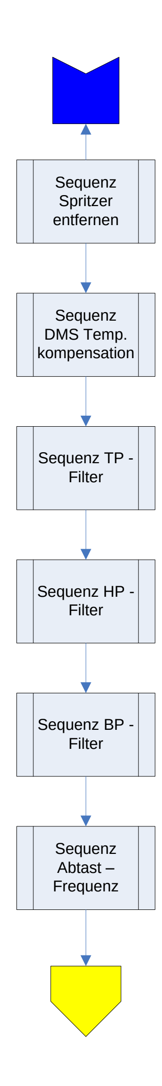
7. Nach erfolgreicher Abarbeitung der Startsequenz, kann die Klassierung ausgeführt werden. Dazu bitte auf folgendes Symbol klicken! Bitte beachten, dieser Vorgang kann einige Zeit in Anspruch nehmen!!!

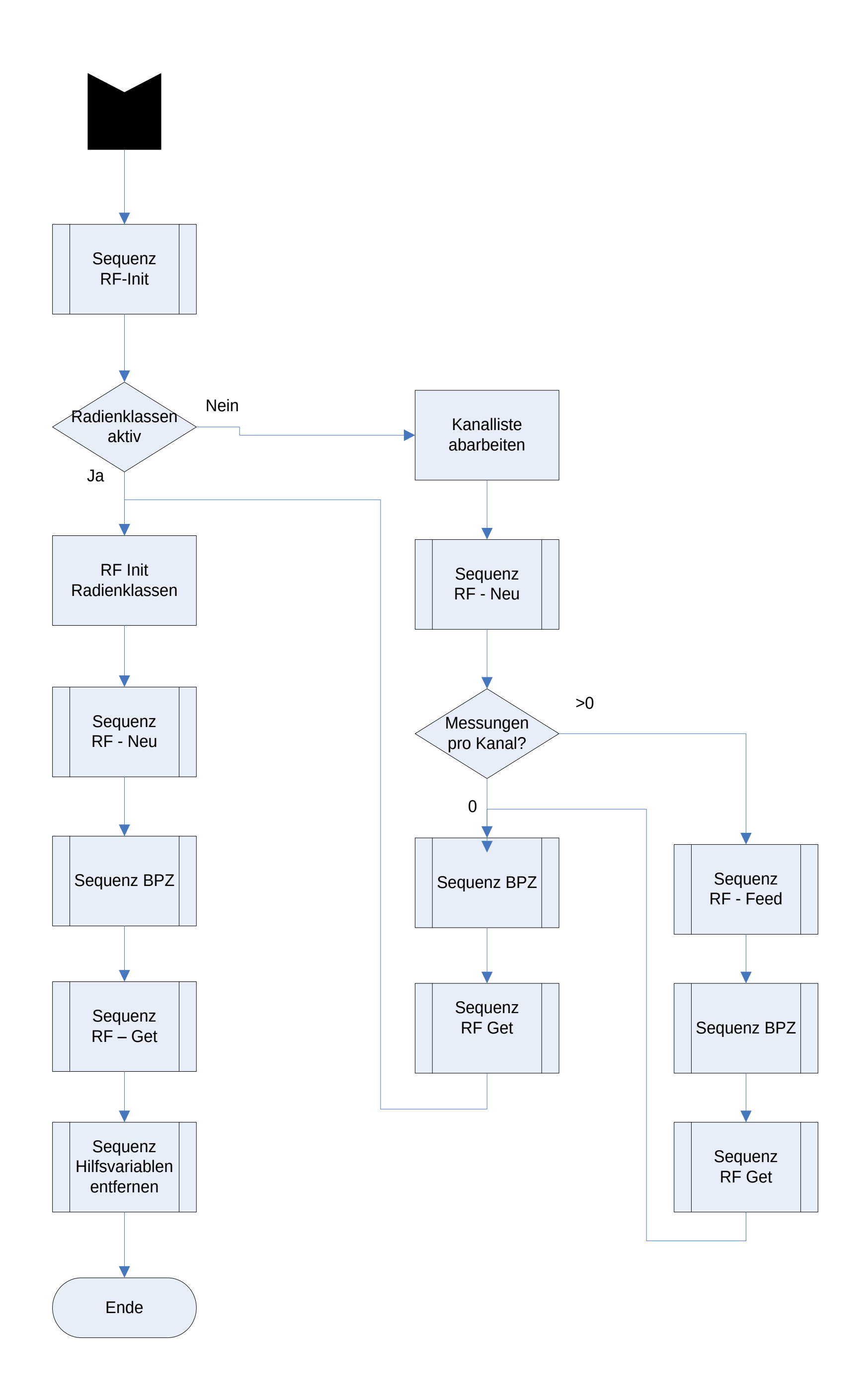

7.
;***** ==> Rainflow Klassierung = Startsequenz <== *****
;Christian Böhnke RF9 - Prüfstelle,
;Alstom Transport Deutschland GmbH Salzgitter, 17.02.2011
; Letzte Änderung: 17.02.2012
;Bitte beachten, dass während der Auswertung der Arbeitsspeicher sehr hoch ausgelastet sein kann.
;Bei Problemen die Klassierung in mehreren Schritten, mit weniger Streckenabschnitten abarbeiten.
;Bitte folgende Infos angeben:
;Projekt:
;Datum:
;Benutzer:
;SVN-Revision:
;Parameter Allgemein
Extrapolation = 0 ;1->AN, 0->AUS
Lebensdauer = 0 ;[Jahre]
Kilometer_pro_Jahr = 0 ;[km]
Gesamtstrecke_manuell = 0 ;[km] 0 -> Off, sonst manuelle Eingabe falls kein vkmh vorhanden!
_Axis = 1 ;0 row is dest class or Amplitude, 1 row is start class or mean
_Type = 1 ;0 start and destination class, 1 amplitude and mean. Tip: Siehe RF_Get => Verfahren und setzoff (_Min)
_Border = 1 ;Randklasse: 0 closed, 1 open
_CalcOptions = 0 ;0 base algorithm, 1 Chlormann Seeger correction
_Residuum = 1 ;0 kein Schwingspiel, 0.5 halbes SS , 1 als ganzes SS
_IgnoreSmallSpans = 1 ;1 kleine Spannen ignorieren, 0 zählen
_Precise = 1 ;1 Spannen präzise berechnen, 0 kompatibel
_CountStartEnd = 0 ;1 Start- und Endwert als Extremwert zählen, 0 nicht
;RF-Parameter - Allgemein
;Rainflow-Parameter nach Signalart
;Parameter - Strecke Gesamt
Dialoge
Klassierkit
Spektralkit
Reportgenerator
SoundKit
Kurven
Datei- Kit
FormatKit
STARTSEQUENZ-RF-KLASSIERUNG*


Startseqenz RF-Klassierung
Startseqenz RF-Klassierung
Eingabe Allgemein+ Variablende klaration
Sequenz Init_Variablen namen
Strecke
Berechnung Ja/Nein
Ja
Sequenz km_Gesamt
Nein
Radienklassen
Filterung Radienklassen Ja/Nein
Ja
Sequenz Rad_Init
Nein
DMS - Kanäle
Radienklassen aktiv? Ja/Nein
Nein
Sequenz Empfindlicjkeit und Einheitenvergabe
Ja



Radienklassen aktiv?
Ja
Dämpfer Kanäle Verarbeiten und Berechnung Knickwinkel
Nein
Sequenz TP -Filter
Radienklassen aktiv?
Ja
Weg Kanal Verarbeitung
Nein
Sequenz HP - Filter
Radienklassen aktiv?
Ja
DMS Kanal Verarbeitung
Sequenz TP - Filter
Nein
Sequenz Empfindlichkeit und Einheit Vergabe
Sequenz HP - Filter
Sequenz Hilfsvariablen entfernen Box
Sequenz Radienklassen
Sequenz DMS Temp. Kompensation A B
Sequenz BP - Filter
Bogenradius ohne Übergangsbögen bestimmen
Spritzer entfernen
Sequenz Spritzer entfernen
Sequenz TP - Filter
Sequenz HP - Filter
Sequenz BP - Filter
Sequenz Abtast – Frequenz


Sequenz Spritzer entfernen
Sequenz DMS Temp. kompensation
Sequenz TP - Filter
Sequenz HP - Filter
Sequenz BP - Filter
Sequenz Abtast – Frequenz


Sequenz
RF-Init
Radienklassen
aktiv
Nein
Ja
Kanalliste
abarbeiten
RF Init
Radienklassen
Sequenz
RF - Neu
Sequenz
RF - Neu
Messungen
pro Kanal?
>0
0
Sequenz BPZ
Sequenz BPZ
Sequenz
RF - Feed
Sequenz
RF – Get
Sequenz
RF Get
Sequenz BPZ
Sequenz
Hilfsvariablen
entfernen
Sequenz
RF Get
Ende

Anlagen, Teil 2

Der vorliegende Quellcode zeigt die in Kapitel 7 entwickelte Auswertesoftware

```
;*******************************************************
;***** --> Rainflow Klassierung - Startsequenz <-- *****
;*******************************************************

;Christian Böhnke RP9 - Prüfstelle,
;Alstom  Salzgitter, 17.03.2012

; Letzte Änderung: xx.xx.2012

;*******************************************************
;Bitte beachten, dass währende der Auswertung der Arbeitsspeicher
sehr hoch ausgelastet sein kann.
;Bei Problemen die Klassierung in mehreren Schritten, mit weniger
Streckenabschnitten abarbeiten.
;*******************************************************

;Bitte folgende Infos angeben:

;Projekt:
;Datum:
;Benutzer:
;SVN-Revision:

;********************************************************
;********************************************************

;Paramter Allgemein

Extrapolation = 0            ;1->AN, 0->AUS
Lebensdauer =    0           ;[Jahre]
Kilometer_pro_Jahr = 0       ;[km]
Gesamtstrecke_manuell = 0    ;[km] 0 -> Off, sonst manuelle Eingabe
falls                        kein vkmh vorhanden!

;-----
_Axis = 1                    ;0 row is dest class or Amplitude, 1 row
                             is start class or mean
_Type = 1                    ;0 start and destination class, 1 ampli-
                             tude and mean. Tip: Siehe RF_Get -> Ver-
                             fahren und setzoff (_Min)
_Border = 1                  ;Randklasse: 0 closed, 1 open
_CalcOptions = 0             ;0 base algorithm, 1 Chlormann Seeger
correction
_Residuum = 1                ;0 kein Schwingspiel, 0.5 halbes SS , 1
                             als Ganzes SS
_IgnoreSmallSpans = 1        ;1 kleine Spannen ignorieren, 0 zählen
_Precise = 1                 ;1 Spannen präzise berechnen, 0 kompati
                             bel
```

```
_CountStartEnd = 0      ;1 Start- und Endwert als Extremwert zählen.
                        0 nicht


;RF-Parameter - Allgemein

;----------------------------------------------------------------------
----------------------------------------------------------------------
;----------------------------------------------------------------------
----------------------------------------------------------------------

;Rainflow-Parameter nach Signalart

;Parameter - Strecke Gesamt
Namensmuster_vkmh = "vkmh"

;----------------------------------------------------------------------
----------------------------------------------------------------------

;Parameter - Bogenradius bestimmt aus (s) Zwischenwagendämpfer!

;Filterung nach Radienklassen

Radienklassen = 1                       ;(0=OFF/1=ON) automatische
                                        Erstellung aller 4 Radienklas-
      sen
Radienklassen_abhängig_von_der_Zeit = 1 ; Berechnung der Radienklas-
sen                                     wird über der Zeit ausgeführt
Radienklassen_abhängig_vom_Weg = 0      ; Berechnung der Radienklassen
                                        wird über dem Weg ausgeführt
Auto_Offset_Entfernung= 1               ; automatische Offset Entfer-
                                        nung vom Weg

;TP-Filter
s_TP_Filter_Freq = 0.5         ;[Hz], 0->Off,  Tiefpassfilterung
s_TP_Filter_Charakteristik =0  ;Standardwert = 0 -> Butterworth Filter
s_TP_Filter_Ordnung = 1        ;Filterordnung, Standardwert = 4

Kanalname_aq= "aq"
Kanalname_Dämpfer= "s_Dämpfer"
Drehzapfenabstand= 16.5        ; [m]
Zwischenwagendämpfer= 1.375    ;Querbasis Zwischenwagendämpfer halbe
[m];

;Variable Einstellung der Klassengrenzen

Radienklasse_1= 1000               ;Standart= >1000m (Geraden)

Radienklasse_2_max= 1000           ;Standard= 600m-1000m (große Bögen)
Radienklasse_2_min= 600

Radienklasse_3_max= 600            ;Standard= 400m- 600m (enge Bögen)
Radienklasse_3_min= 400

Radienklasse_4_max= 400            ;Standard= 250m- 400m (sehr enge
Bögen)
Radienklasse_4_min= 250
```

```
;-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------
;-----------------------------------------------------------------------
-----------------------------------------------------------------------


;Parameter - DMS

;Signal-Filter-Einstellungen
;Median Filter
DMS_Spritzer_entfernen = 0         ;(0->OFF/1->ON)Mit diesem Filter
                                   können Signalspritzer entfernt wer-
                                   den
DMS_Wert_median = 3                ;Spritzer im Signal entfernen
                                   (Standartwert 3= Glättung über drei
                                   Punkte)

;HP-Filter
DMS_HP_Filter_Freq = 0               ;[Hz], 0->Off,  Hochpassfilterung
der                                  Spannungen
DMS_HP_Filter_Charakteristik =0      ;Standardwert = 0 -> Butterworth
                                           Filter
DMS_HP_Filter_Ordnung = 4            ;Filterordnung, Standardwert = 4

;TP-Filter
DMS_TP_Filter_Freq = 0               ;[Hz], 0->Off,  Tiefpassfilterung
der Spannungen
DMS_TP_Filter_Charakteristik =0       ;Standardwert = 0 -> Butterworth
                                           Filter
DMS_TP_Filter_Ordnung = 4            ;Filterordnung, Standardwert = 4

;BP-Filter
DMS_BP_Filter_Freq_unten = 0         ;[Hz], 0->Off,  Bandpassfilterung
der Spannungen
DMS_BP_Filter_Freq_oben  = 0         ;[Hz], 0->Off,  Bandpassfilterung
der Spannungen
DMS_BP_Filter_Charakteristik =0      ;Standardwert = 0 -> Butterworth
                                           Filter
DMS_BP_Filter_Ordnung = 4            ;Filterordnung, Standardwert = 4


Kanal_Empfindlichkeit = 0             ;"0=Aus" ansonsten kann hier die
                                      Empfindlichkeit eingegeben wer-
                                      den, falls die Messung in "V"
                                      aufgezeichnet wurde.
Einheit_Vergabe = ""                  ;Hier kann die "Einheit" eingege
                                      ben werden, in der der Kanal an-
                                      gezeigt werden soll."Nur möglich,
                                      wenn Kanal_Empfindlichkeit nicht
                                      "0" ist.


Kanalname_DMS = "MTD_D34_02"         ;Namensmuster für die Inidizierung
                                     der Variablen. Tip: Es sollten
                                     konstante Buchstaben (in dem Ka-
                                     nalnamen) gewählt werden.
Anzahl_DMS = 1

;;;;;;
```

```
_Min_DMS = -50                      ;Minimum der Messwerte
_Max_DMS =  50                      ;Maximum der Messwerte

Schritt_DMS = 1                     ;Standardwert=1 -> für Schrittwei-
                                    te von einer Einheit. Tip:
                                    Schrittweite so wählen, dass um
                                    die 100 Klassen genutzt werden.

;Hysterese ist gleich der Schrittgröße bzw. eine Klassenbreite!


;--------------------------------------------------------------------
--------------------------------------------------------------------

sequenz Init_Variablennamen

;Init_Variablennamen


;*******************************************************************
;Strecken

Anzahl_vkmh_1 = vargetinit2(Namensmuster_vkmh,2)
                                       ;vkmh Kanalliste erstellen

wenn Anzahl_vkmh_1 > 0                 ;schleife für automatische
                                       Erstellung der Gesamtkilometer
      sequenz km_Gesamt                ;Sequenzaufruf

ende                                   ;Schleifenende

;*******************************************************************
w= 0
wenn Radienklassen = 1

      sequenz Rad_Init           ;Sequenz zur Vorverarbeitung aller
                                 Kanäle zur Radienklassenbestimmung

ende
;*******************************************************************

;DMS-Kanäle

wenn Anzahl_DMS > 0              ;*******
                                 ; Abfrage ob Radienklassenbestim-
                                 mung aktiv ist. Wenn ja, wird nach-
                                 folgende Abarbeitung für DMS Känale
                                 übersprungen und in Rad_Init fort
                                 gesetzt.
wenn Radienklassen = 0           ;*******

Anzahl = vargetinit2(Kanalname_DMS, 2)      ;Kanalliste DMS erstel-
                                            len

i=1                                         ;Zählervariable

solange i<=Anzahl                           ;Schleifeneinleitung zur
                                            automatischen Abarbei-
```

```
                                                  tung aller Messungen ei-
                                                  nes DMS Kanals

     Kanal=vargetname?(i)                    ;aktuellen Kanalname einlesen

               check=0                       ;Variable zur Überprüfung ob
                                             alle nachfolgenden Sequnzen
                                             abgearbeitet wurden.

     sequenz Empfindlichkeit_und_Einheit_Vergabe  ;Sequenzaufruf

                                             check=check+1 ;Zähler erhöhen

     sequenz Spritzer_entf                                ;Sequenzaufruf

                                             check=check+1 ;Zähler erhöhen

     sequenz TP_Filter                                    ;Sequenzaufruf

                                             check=check+1 ;Zähler erhöhen

     sequenz HP_Filter                                    ;Sequenzaufruf

                                             check=check+1 ;Zähler erhöhen

     sequenz BP_Filter                                    ;Sequenzaufruf

                                             check=check+1 ;Zähler erhöhen

;*****

i=i+1          ;Zähler inkrementieren zur automatischen Abarbeitung aller
               Messungen eines DMS Kanals
ende           ;Schleifenende

                                             check_DMS=check
                                             Variablennamen ändern von
                                             check --> check_DMS

     wenn check_DMS=5
     ;Überprüfung ob Sequenzabarbeitungen n.i.O oder i.O.

     sequenz Abtast_Freq
     ;Sequenzaufruf

          boxnachricht("!!!! -> Herzlichen Glückwunsch <- !!!!",
"Alle DMS-Kanal Sequenzen wurden abgearbeitet!", "?1"); <-- wenn i.O.

          sonst

          boxnachricht("!!!! Verdammte SCHEI.... !!!!", "WARNUNG!
Bei der Abarbeitung der DMS-Kanal Sequenzen is ein Problem aufgetre-
ten!  Bitte Messkanäle neu einladen und/oder 4771 anrufen!", "?1");
<-- wenn n.i.O.

     ende  ;Schleifenende

;*****
```

```
;Initialisierung der Rainflow-Zählung für DMS-Kanäle

_Max =_Max_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
_Min = _Min_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
Namensmuster = Kanalname_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Init
Schritt = Schritt_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
Anzahl_Kanal = Anzahl_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Init

ende  ;Schleifenende DMS-Kanäle
sequenz RF_Init
;Sequenzaufruf zur Rainflowparameter Initialisierung
;****

Ende  ;Wenn keine DMS-Kanäle geladen wurden!

;*******************************************************************

sequenz RF_Init                         ;Sequenzaufruf

sequenz Hilfsvariablen_entfernen        ;Sequenzaufruf


;PROGRAMMENDE

;*******************************************************************

;Berechnung Gesamtstrecke und Aufruf des vkmh-Kanals

;*******************************************************************

Gesamtstrecke = 0            ;Hilfsvariable erstellen
v=1                          ;Zählvariable erstellen.


      solange v<= Anzahl_vkmh_1         ;Zählschleife einleiten

                 _vkmh = vargetname?(v)  ;aktuellen Kanalname einlesen

                       Strecke_neu = max(int(<_vkmh>/3600))
                       ;Berechnung der Teilstrecke

                 Gesamtstrecke = Gesamtstrecke + Strecke_neu
                 ;Berechnung der Gesamtstrecke

                       seteinheit(Gesamtstrecke,"km",1)
                       ; Vergabe Einheit Kilometer

                 v=v+1 ;inkrementiere Zählervariable

ende  ;Schleifenaustritt

;*******************************************************************
```

```
;Sequenz zur Vorverarbeitung aller Kanäle zur Radienklassenbestimmung

;********************************************************************
;weg binden um Radius zu bestimmen

i=1     ;Hilfsvariable erstellen
x=2    ;Hilfsvariable erstellen

 wenn Radienklassen =1
 ;Abfrage, ob Radienklassen in der Startsequenz aktiviert wurde

      Anzahl_s_Dämpfer = vargetinit2(Kanalname_Dämpfer, 2)
      ;vkmh Kanalliste erstellen

      Kanal=vargetname?(i)        ;aktuellen Kanalname einlesen

      s_Dämpfer_gebunden= <Kanal> ;Variable erstellen mit dem K-Inhalt

      entf <Kanal>     ;entferne Inhalt vom Kanal

      solange x<= Anzahl_s_Dämpfer
      ;Schleifeneinleitung zum automati  schen binden der einzelne
      Messungen vom Dämpfer

            Kanal=vargetname?(x) ;aktuellen Kanalname einlesen

      s_Dämpfer_gebunden= binde (s_Dämpfer_gebunden, <Kanal>)
      ;binde aktuellen Kanalinhalt an die Variable s_Dämpfer_gebunden

            x=x+1 ;inkrementiere Zähler

            entf <Kanal> ;entf Inhalt vom Kanal

      ende ;Schleifenaustritt

      wenn einheit?(s_Dämpfer_gebunden,1) <> "m"
      ; Überprüfung ob Einheit "m" wenn nicht, V

            s_Dämpfer_gebunden=s_Dämpfer_gebunden/1000
            ;setze Einheit auf "m"
            seteinheit (s_Dämpfer_gebunden,"m",1)
            ;Vergabe Einheit Meter.

      ende  ;Bedingung Ende

     w=0 ;Hilfsvariable erstelellen, Nutzung in TP-Filter zur vermei-
     dung von Doppeldurchlauf des TP-Filters

      s_Dämpfer_gebunden=median(s_Dämpfer_gebunden,3)
      ;Filter über drei Punkte um Spritzer zu entfernen


check=0
;erzeugen einer Checksumme um zu überprüfen ob die Nachfolgenden Se-
quenzen abgearbeitet wurden

      sequenz TP_Filter ;Sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme
```

```
      sequenz Auto_Offset_Entfernung ;Sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      s_Dämpfer_gebunden1=s_Dämpfer_gebunden
      ;Hilfsvariable ertsellen zur Offsetkontrolle

      zeigen s_Dämpfer_gebunden1 ;Kanal Anzeigen

      Box=boxnachricht ("Offset","!!!Bitte Überprüfe, ob der Offset
korrekt entfernt wurde. Wenn nicht, Offset bitte manuel entfernen und
Sequenz neu starten!!!","I2") ;Aktives Fenster zur Kontrolle des Off-
sets ggf. Abbruch der gesammten Sequenz

      entf s_Dämpfer_gebunden1 ; entferne Hilfsvariable

      wenn Box = 0 ; Wenn Boxnachricht "0" zurück gibt V

            sequenz Hilfsvariablen_Entfernen_Box
            ; Hilfsvariablen entfernen
            exitsequenz ;Abbruch der gesammten Sequenz

      ende ;Bedingung Ende

      seteinheit (Drehzapfenabstand,"m",1) ;Einheit auf "m" setzen
      seteinheit (Zwischenwagendämpfer,"m",1) ;Einheit auf "m" setzen

      Radius= abs((Zwischenwagendämpfer* Drehzapfenabstand)/
                    s_Dämpfer_gebunden)
      ; Radius berechnen

      Krümmung= 1/Radius ;Krümmung berechnen

ende ;Bedingung Ende


;**********************************************************************
**********************************************************************
;vkmh binden zur Streckenbestimmung

i=1   ;Hilfsvariable erstellen
x=2   ;Hilfsvariable erstellen

wenn Radienklassen=1
;Abfrage, ob Radienklassen in der Startsequenz aktiviert wurde

      Anzahl_vkmh = vargetinit2(Namensmuster_vkmh, 2)
      ;vkmh Kanalliste erstellen

      Kanal=vargetname?(i) ;aktuellen Kanalname einlesen

      Vkmh_gebunden = <Kanal>
      ;Variable erstellen mit dem Inhalt von Kanal

      entf <Kanal> ;entferne Inhalt vom Kanal

      solange x<= Anzahl_vkmh
```

```
      ;Schleifeneinleitung zum automatischen binden der einzelnen Mes-
      sungen vom Dämpfer

            Kanal=vargetname?(x) ;aktuellen Kanalname einlesen

            vkmh_gebunden= binde (vkmh_gebunden, <Kanal>)
            ;binde aktuellen Kanalinhalt an die Variable vkmh_gebunden

            x=x+1 ;inkrementiere Zähler

            entf <Kanal> ;entferne Inhalt vom Kanal

      ende ;Schleifenaustritt

      sequenz TP_Filter      ;Sequenzaufruf

      check=check+1          ;inkrementiere Checksumme

      sequenz HP_Filter      ;Sequenzaufruf

      check=check+1          ;inkrementiere Checksumme

      sequenz BP_Filter      ;Sequenzaufruf

      check=check+1          ;inkrementiere Checksumme

      sequenz Spritzer_entf ;Sequenzaufruf

      check=check+1          ;inkrementiere Checksumme

ende                         ;Bedingung Ende

;*********************************************************************
;DMS-Kanäle binden zur Radienberechnung

z=1 ;Hilfsvariable erstellen
i=1 ;Hilfsvariable erstellen
x=2 ;Hilfsvariable erstellen

wenn Radienklassen=1 and Anzahl_DMS >0
;Abfrage, ob Radienklassen und DMS in der Startsequenz aktiviert wur-
de
      Anzahl_DMS = vargetinit2(Kanalname_DMS, 2)
      ;vkmh Kanalliste erstellen

      Kanal=vargetname?(i) ;aktuellen Kanalname einlesen

      DMS_gebunden = <Kanal>
      ;Variable erstellen mit dem Inhalt von Kanal

      entf <Kanal> ;entferne Inhalt vom Kanal

      solange x<= Anzahl_DMS
;Schleifeneinleitung zum automatischen binden der einzelnen Messungen
vom Dämpfer

            Kanal=vargetname?(x) ;aktuellen Kanalname einlesen

            DMS_gebunden= binde (DMS_gebunden, <Kanal>)
```

```
            ;binde aktuellen Kanalinhalt an die Variable DMS_gebunden

            x=x+1 ;inkrementiere Zähler

            entf <Kanal> ;entferne Inhalt vom Kanal

      ende ;Schleifenaustritt


      check=check+1  ;inkrementiere Checksumme

      sequenz Empfindlichkeit_und_Einheit_Vergabe ;sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      sequenz Spritzer_entf ;sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      sequenz TP_Filter ;sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      sequenz HP_Filter ;sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      sequenz BP_Filter ;sequenzaufruf

      check=check+1 ;inkrementiere Checksumme

      sequenz Abtast_Freq ;sequenzaufruf

      z=z+1 ;inkrementiere Schleifenvariable

      check_DMS=check ;Hilfsvariable erstellen

      wenn check_DMS=12 ;Überprüfung ob Sequenzabarbeitungen n.i.O o-
      der i.O.

            sequenz Abtast_Freq ;Sequenzaufruf

            boxnachricht("!!!! -> Herzlichen Glückwunsch <- !!!!",
"Alle DMS-Kanal Sequenzen zur Radien-Klassierung wurden abgearbei-
tet!", "?1") ;<-- wenn i.O.

      sonst

            boxnachricht("!!!! Verdammte SCHEI.... !!!!", "WARNUNG!
Bei der Abarbeitung der DMS-Kanal Sequenzen is ein Problem aufgetre-
ten!  Bitte Messkanäle neu einladen und/oder 4771 anrufen!", "?1") ;
<-- wenn n.i.O.

      ende  ;Bedingung Ende
ende        ;Bedingung Ende

**********************************************************************
sequenz Radienklassen ;Sequenzaufruf
```

```
;*******************************************************************

;Bogenradius ohne Übergangsbögen bestimmen

;*******************************************************************

Wenn (Radienklassen_abhängig_vom_Weg = 0) and (Radienklas-
sen_abhängig_von_der_Zeit = 1) ;Parameterabfrage aus der Startsequenz

Krümmung_tp_diff=abs(diff(Krümmung))
;Differenziert Krümmungssignal und bildet Absolutwert(keine Nega-
tivanteile)
Krümmung_tp_diff=median (Krümmung_tp_diff,3)
;Spritzer entfernen über 3Punkte

Krümmung_tp_diff_S_trigger=Stri(Krümmung_tp_diff,0.0002,0.00018)
;Filterung nach Übergangsbögen (wenn 1=Übrgangsbögen, wenn 0=Geraden
oder Bögen)

;********************
;x korrektur, fals Kanal geschnitten wurde.

Krümmung_null=Alle0(Krümmung_tp_diff_S_trigger)
;Alle Nulldurchgänge zählen
null=xoff?(Krümmung_tp_diff_S_trigger)
;xoffset filtern
Krümmung_null=binde(null,Krümmung_null)
;xoffset an Krümmung_null binden
Endzeit=null+ (lang?(Krümmung_tp_diff_S_trigger)-100)*Xdel?
(Krümmung_tp_diff_S_trigger)
;korrekten Endzeitpunkt Erstellen
Krümmung_null=binde(Krümmung_null,Endzeit)
;Endzeit an Krümmung_null binden

;*********************

Maske_Übergangsbögen= Krümmung_tp_diff_S_trigger*0 ;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_4= Krümmung_tp_diff_S_trigger*0        ;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_3= Krümmung_tp_diff_S_trigger*0        ;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_2= Krümmung_tp_diff_S_trigger*0        ;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_1= Krümmung_tp_diff_S_trigger*0        ;Kanalerstellung

i=1   ; Zählervariable
z=lang?(Krümmung_null) ;Abfrage wie lang der Kanal Krümmung_null ist

solange i<z
;Schleifeneinleitung zur Abarbeitung aller Krümmung_null Daten

      wenn mitte(Gren (Krümmung_tp_diff_S_trigger,Wert
      (Krümmung_null,i-1),Wert (Krümmung_null,i))) < 0
      ;Bestimmung ob der Schmitttrigger 1 (Übergangsbögen) oder -
      1(Gerade/Bögen).

            Ausschnitt=Gren (Radius,Wert(Krümmung_null,i-1),Wert
            (Krümmung_null,i))
            ; Teilstück vom Radius ausschneiden
            Ausschnittauf1=Ausschnitt*0+1
            ;Ausschnitt auf 1 setzen für eine eindeutige Recheckfunk-
            tion
```

```
          Maske_Mittel= mitte (ausschnitt)
          ;Mittelwert für Zuordnung in die zugehörigen Radienklassen

;**********************
;Zuordnung und Kanalerstellung der 4 Radienklassen und Übergangsbögen


          wenn Maske_Mittel  >= Radienklasse_4_min and Maske_Mittel
          <= Radienklasse_4_max
          ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

               Maske_Rad_Kl_4= stück (Maske_Rad_Kl_4 , Aus-
               schnittauf1)
               ;hänge an Maske_Rad_Kl_4 Teilstück von Ausschnitt
               auf 1

          sonst

          wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_3_min and Maske_Mittel
          <= Radienklasse_3_max
          ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

               Maske_Rad_Kl_3= stück (Maske_Rad_Kl_3 , Aus-
               schnittauf1)
               ;hänge an Maske_Rad_Kl_4 Teilstück von Ausschnitt
               auf 1

          sonst

          wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_2_min and Maske_Mittel
          <= Radienklasse_2_max
          ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

               Maske_Rad_Kl_2= stück (Maske_Rad_Kl_2 , Aus-
               schnittauf1)
               ;hänge an Maske_Rad_Kl_4 Teilstück von Ausschnitt
               auf 1

          sonst

          wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_1

               Maske_Rad_Kl_1= stück (Maske_Rad_Kl_1, Aus-
               schnittauf1)
               ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

          ende  ;Schleifenende
     ende  ;Schleifenende
   ende  ;Schleifenende
ende  ;Schleifenende


;Erstellung der Maske Übergangsbögen

     sonst mitte(Gren (Krümmung_tp_diff_S_trigger,Wert(Krümmung_null
     ,i-1),Wert (Krümmung_null,i))) >0
     ;wiederholte Auswertung des Schmitt-Trigger Signals
          Ausschnitt_Übergangsbögen= Gren (Radius,Wert
          (Krümmung_null,i-1),Wert (Krümmung_null,i))
```

```
            ;Teilstück vom Radius ausschneiden
            Ausschnittauf1_Übergangsbögen= Ausschnitt_Übergangsbögen
            *0+1
            ;Ausschnitt auf 1 setzen für eine eindeutige Recheckfunk-
            tion

            Maske_Übergangsbögen = stück (Maske_Übergangsbögen,
            Ausschnittauf1_Übergangsbögen)
            ;hänge an Maske_Übergangsbögen Teilstück von Ausschnitt
            auf 1

ende  ;Schleifenende

      i=i+1 ; Zähler inkrementieren

ende  ;Schleifenende

;**********************

wenn  (lang?(Maske_Rad_Kl_4) > 0)
; Abfrage ob Kanal  (Maske_Rad_Kl_4) Daten enthält

      Strecke_Radienklasse_4=max(int((vkmh_gebunden/3600)
      *(Maske_Rad_Kl_4))) ;Streckenberechnung der Radienklasse_4
      seteinheit(Strecke_Radienklasse_4,"km",1)
      Radienklasse_4= DMS_gebunden * Maske_Rad_Kl_4
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 4 werden dem Kanal übergeben)

ende  ;Schleifenende

wenn  (lang?(Maske_Rad_Kl_3) > 0)
; Abfrage ob Kanal  (Maske_Rad_Kl_3) Daten enthält

      Strecke_Radienklasse_3=max(int((vkmh_gebunden/3600)*
      (Maske_Rad_Kl_3)))     ;Streckenberechnung der Radienklasse_3
      seteinheit(Strecke_Radienklasse_3,"km",1)
      ; Vergabe Einheit Kilometer
      Radienklasse_3= DMS_gebunden * Maske_Rad_Kl_3
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 3 werden dem Kanal übergeben)

ende  ;Schleifenende

wenn  (lang?(Maske_Rad_Kl_2) > 0)
; Abfrage ob Kanal  (Maske_Rad_Kl_2) Daten enthält

      Strecke_Radienklasse_2=max(int((vkmh_gebunden/3600)
      *(Maske_Rad_Kl_2)))
      ;Streckenberechnung der Radienklasse_2
      seteinheit(Strecke_Radienklasse_2,"km",1)
      Radienklasse_2= DMS_gebunden * Maske_Rad_Kl_2
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 2 werden dem Kanal übergeben)

ende  ;Schleifenende

wenn  (lang?(Maske_Rad_Kl_1) > 0)
; Abfrage ob Kanal  (Maske_Rad_Kl_1) Daten enthält
```

```
      Strecke_Radienklasse_1=max(int((vkmh_gebunden/3600)
      *(Maske_Rad_Kl_1)))    ;Streckenberechnung der Radienklasse_1
      seteinheit(Strecke_Radienklasse_1,"km",1)
      Radienklasse_1= DMS_gebunden * Maske_Rad_Kl_1
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 1 werden dem Kanal übergeben)

ende  ;Schleifenende

wenn (lang?(Maske_Übergangsbögen) > 0)
; Abfrage ob Kanal (Maske_Übergangsbögen) Daten enthält

      Strecke_Übergangsbögen=max(int((vkmh_gebunden/3600)
      *(Maske_Übergangsbögen)))
;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale der Über-
gangsbögen werden dem Kanal übergeben)
      seteinheit(Strecke_Übergangsbögen,"km",1)

ende  ;Schleifenende
_Max =_Max_DMS
;Variablenerstellung Weiterverarbeitung in "seq_RF_Neu"
_Min = _Min_DMS
;Variablenerstellung Weiterverarbeitung in "seq_RF_Neu"
Schritt = Schritt_DMS
;Variablenerstellung Weiterverarbeitung in "seq_RF_Neu"
Namensmuster_Radienklassen="Radienklasse_*"
;Variablenerstellung Weiterverarbeitung in "seq_RF_Init"


entf Radienklasse_2_max     ;entferne Hilfsvariablen
entf Radienklasse_2_min     ;entferne Hilfsvariablen
entf Radienklasse_3_max     ;entferne Hilfsvariablen
entf Radienklasse_3_min     ;entferne Hilfsvariablen
entf Radienklasse_4_max     ;entferne Hilfsvariablen

ende
;*********************************************************************
*********************************************************************

Wenn (Radienklassen_abhängig_vom_Weg = 1) and (Radienklas-
sen_abhängig_von_der_Zeit = 0)
;Parameterabfrage aus der Startsequenz

streckemax=max (Int(vkmh_gebunden/3600))
;Berechnung der Gesamtstrecke (max=WERT)

strecke= Int(vkmh_gebunden/3.6)
; Berechnung der Gesamtstrecke (Diagramm)

SetEinheit (streckemax,"km",1)    ;setze Einheit auf km

Krümmung=median (Krümmung,3);Filterung des Krümmungskanals über 3
                            Punkte (Spritzer entfernen)

Krümmung= filttp (spieg(Krümmung),0,0,4,0.3) ;TP-Filterung und Spieg-
lung des Kanals

Krümmung= filttp (spieg(Krümmung),0,0,4,0.3)
```

```
;TP-Filterung und Spiegelung des Kanals (Krümmungskanal wurde zurück
und vor gespiegelt um Zeitversatz zu entfernen)

Krümmung=XYvon (strecke,abs (Krümmung))
;XY Kanal vom Absolutwert der Krümmung und der Strecke


Krümmung_diff=diff(Krümmung) ; differenziere Krümmungskanal

Krümmung_tp1_diff_S_trigger=Stri(abs (kmpy (Krümmung_diff))
,0.0000045,0.00000375)
;Schmitttrigger von Absolutwerten der Y-Anteile vom Kanal "Krüm-
mung_diff"(Abhängig vom Weg)

Krümmung_tp1_diff_S_trigger_1= XYvon (strecke, (Krüm-
mung_tp1_diff_S_trigger))
;XY-Datensatz von Krümmung_* und Strecke

Übergangsbögen= ((Krümmung_tp1_diff_S_trigger_1+1)/2)
;Kanalerstellung Übergangsbögen

krümmung_diff_abs= abs (krümmung_diff)
;Absolutwert Krümmung_diff

RzuStre=XYvon (strecke,Radius)
;XY-Datensatz Bogenradius in Abhänigkeit von der Strecke

VkmhzuStre=XYvon (strecke,vkmh_gebunden)
;XY_Datensatz Vkmh in Abhänigkeit von der Strecke

Krümmung_null=Alle0(Krümmung_tp1_diff_S_trigger)
;Alle Nulldurchgänge zählen
null=xoff?(Krümmung_tp1_diff_S_trigger) ;xoffset filtern
Krümmung_null=binde(null,Krümmung_null)
;xoffset an Krümmung_null binden
Endzeit=null+ (lang?(Krümmung_tp1_diff_S_trigger)-
100)*Xdel?(Krümmung_tp1_diff_S_trigger)
;korrekten Endzeitpunkt Erstellen
Krümmung_null=binde(Krümmung_null,Endzeit)
;Endzeit an Krümmung_null binden

Maske_Rad_Kl_4= Krümmung_tp1_diff_S_trigger*0;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_3= Krümmung_tp1_diff_S_trigger*0;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_2= Krümmung_tp1_diff_S_trigger*0;Kanalerstellung
Maske_Rad_Kl_1= Krümmung_tp1_diff_S_trigger*0;Kanalerstellung


i=1                    ;Hilfsvariable erstelleln
z=lang?(Krümmung_null) ;Abfrage Datensatzlänge

solange i<z
;Schleifeneinleitung zur Abarbeitung aller Krümmung_null Daten

wenn mitte(Gren (Krümmung_tp1_diff_S_trigger,Wert(Krümmung_null,i-
1),Wert (Krümmung_null,i))) < 0
;Bestimmung ob der Schmitttrigger 1 (Übergangsbögen) oder -
1(Gerade/Bögen).
           Ausschnitt=Gren (Radius,Wert(Krümmung_null,i-1),Wert
           (Krümmung_null,i))
```

```
            ;Teilstück vom Radius ausschneiden
            Ausschnittauf1=Ausschnitt*0+1
            ;Ausschnitt auf 1 setzen für eine eindeutige Recheckfunk-
            tion
            Maske_Mittel= mitte (ausschnitt)
            ;Mittelwert für Zuordnung in die zugehörigen Radienklassen

            wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_4_min and Maske_Mittel
            <= Radienklasse_4_max
            ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

            Maske_Rad_Kl_4= stück (Maske_Rad_Kl_4 , Ausschnittauf1)
            ;hänge an Maske_Rad_Kl_4 Teilstück von Ausschnitt auf 1

            sonst

            wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_3_min and Maske_Mittel
            <= Radienklasse_3_max
            ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

            Maske_Rad_Kl_3= stück (Maske_Rad_Kl_3 , Ausschnittauf1)
            ;hänge an Maske_Rad_Kl_3 Teilstück von Ausschnitt auf 1

            sonst

            wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_2_min and Maske_Mittel
            <= Radienklasse_2_max
            ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

            Maske_Rad_Kl_2= stück (Maske_Rad_Kl_2 , Ausschnittauf1)
            ;hänge an Maske_Rad_Kl_2 Teilstück von Ausschnitt auf 1

            sonst

            wenn Maske_Mittel >= Radienklasse_1
            ;Abfrage ob Mittelwert <= Wert aus Startsequenz

            Maske_Rad_Kl_1= stück (Maske_Rad_Kl_1, Ausschnittauf1)
            ;hänge an Maske_Rad_Kl_1 Teilstück von Ausschnitt auf 1

            ende ;Schleifenende
            ende ;Schleifenende
            ende ;Schleifenende
            ende ;Schleifenende
      ende ;Schleifenende
i=i+1 ; Zähler inkrementieren
ende ;Schleifenende


Maske_Rad_Kl_1_wegAbh=XYvon (strecke,Maske_Rad_Kl_1)
;XY-Datensatz von strecke und Maske Daten erzeugen (abhängig vom Weg)


Maske_Rad_Kl_2_wegAbh=XYvon (strecke,Maske_Rad_Kl_2)
;XY-Datensatz von strecke und Maske Daten erzeugen (abhängig vom Weg)

Maske_Rad_Kl_3_wegAbh=XYvon (strecke,Maske_Rad_Kl_3)
;XY-Datensatz von strecke und Maske Daten erzeugen (abhängig vom Weg)
```

```
Maske_Rad_Kl_4_wegAbh=XYvon (strecke,Maske_Rad_Kl_4)
;XY-Datensatz von strecke und Maske Daten erzeugen (abhängig vom Weg)

Maske_Rad_Kl_1_wegAbh_Mitte= Mitte (Maske_Rad_Kl_1_wegAbh.y)
;Mittelwertbildung von Maske und Y-Spur von wegAbh

Maske_Rad_Kl_2_wegAbh_Mitte= Mitte (Maske_Rad_Kl_2_wegAbh.y)
;Mittelwertbildung von Maske und Y-Spur von wegAbh

Maske_Rad_Kl_3_wegAbh_Mitte= Mitte (Maske_Rad_Kl_3_wegAbh.y)
;Mittelwertbildung von Maske und Y-Spur von wegAbh

Maske_Rad_Kl_4_wegAbh_Mitte= Mitte (Maske_Rad_Kl_4_wegAbh.y)
;Mittelwertbildung von Maske und Y-Spur von wegAbh

Übergangsbögen_Mitte= Mitte (Übergangsbögen.y)
;Mittelwertbildung von Maske und Y-Spur

DMS_gebunden=xyvon (strecke,DMS_gebunden)
;XY-Datensatz von strecke und DMS_gebunden




wenn (lang?(Maske_Rad_Kl_4_wegAbh) > 0)
; Abfrage ob Kanal (Maske_Rad_Kl_4_wegAbh) Daten enthält

      Strecke_Rad_Kl_4= (Maske_Rad_Kl_4_wegAbh_Mitte*streckemax)
      ;Streckenberechnung der Radienklasse_4
      seteinheit(Strecke_Rad_Kl_4,"km",1)
      Radienklasse_4= DMS_gebunden.y*Maske_Rad_Kl_4_wegAbh.y
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 4 werden dem Kanal übergeben)

ende

wenn (lang?(Maske_Rad_Kl_3_wegAbh) > 0)
; Abfrage ob Kanal (Maske_Rad_Kl_3_wegAbh) Daten enthält

      Strecke_Rad_Kl_3= (Maske_Rad_Kl_3_wegAbh_Mitte*streckemax)
      ;Streckenberechnung der Radienklasse_3
      seteinheit(Strecke_Rad_Kl_3,"km",1)
      Radienklasse_3= DMS_gebunden.y*Maske_Rad_Kl_3_wegAbh.y
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 3 werden dem Kanal übergeben)

ende

wenn (lang?(Maske_Rad_Kl_2_wegAbh) > 0)
; Abfrage ob Kanal (Maske_Rad_Kl_2_wegAbh) Daten enthält

      Strecke_Rad_Kl_2= (Maske_Rad_Kl_2_wegAbh_Mitte*streckemax)
      ;Streckenberechnung der Radienklasse_2
      seteinheit(Strecke_Rad_Kl_2,"km",1)
      Radienklasse_2= DMS_gebunden.y*Maske_Rad_Kl_2_wegAbh.y
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 2 werden dem Kanal übergeben)
```

```
ende

wenn (lang?(Maske_Rad_Kl_1_wegAbh) > 0)
; Abfrage ob Kanal (Maske_Rad_Kl_1_wegAbh) Daten enthält

      Strecke_Rad_Kl_1= (Maske_Rad_Kl_1_wegAbh_Mitte*streckemax)
      ;Streckenberechnung der Radienklasse_1
      seteinheit(Strecke_Rad_Kl_1,"km",1)
      Radienklasse_1= DMS_gebunden.y*Maske_Rad_Kl_1_wegAbh.y
      ;Vorbereitung der DMS-Kanäle für die RF (Nur DMS Signale in der
      Radienklasse 1 werden dem Kanal übergeben)

ende
Strecke_Übergangsbögen= (Übergangsbögen_Mitte*streckemax)
;Streckenberechnung der Übergangsbögen

seteinheit(Strecke_Übergangsbögen,"km",1)

SetEinheit (Strecke_Rad_Kl_1,"km",1) ;Einheit auf km setzen
SetEinheit (Strecke_Rad_Kl_2,"km",1) ;Einheit auf km setzen
SetEinheit (Strecke_Rad_Kl_3,"km",1) ;Einheit auf km setzen
SetEinheit (Strecke_Rad_Kl_4,"km",1) ;Einheit auf km setzen
SetEinheit (Strecke_Übergangsbögen,"km",1) ;Einheit auf km setzen

_Max =_Max_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
_Min = _Min_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
Schritt = Schritt_DMS
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Neu
Namensmuster_Radienklassen="Radienklasse_*"
;Variablenerstellung, weiterverarbeitung in RF_Init


entf Radienklasse_2_max     ;Hilfsvariablen entfernen
entf Radienklasse_2_min     ;Hilfsvariablen entfernen
entf Radienklasse_3_max     ;Hilfsvariablen entfernen
entf Radienklasse_3_min     ;Hilfsvariablen entfernen
entf Radienklasse_4_max     ;Hilfsvariablen entfernen
entf Maske_Rad_Kl_1         ;Hilfsvariablen entfernen
entf Maske_Rad_Kl_2         ;Hilfsvariablen entfernen
entf Maske_Rad_Kl_3         ;Hilfsvariablen entfernen
entf Maske_Rad_Kl_4         ;Hilfsvariablen entfernen

ende ;Sequenz Austritt



;*********************************************************************

;RF - Init.

;*********************************************************************


i=1   ; Zählvariable
r=1   ; Zähler für die Anzahl der zusätzlichen Messungen pro Kanal
```

```
wenn Radienklassen= 0
;Abfrage ob Schalter der Radienklassen in Startsequenz aktiv ist,
wenn j Sprung in Init. für Radienklassen

solange i<=Anzahl_Kanal
;Schleifeneinleitung für Abarbeitung aller Kanäle

     Anzahl= vargetinit2(Namensmuster, 2) ;Kanalliste erstellen

     Kanal=vargetname?(i)
     ;aktuellen Kanalnamen aus Kanalliste lesen

     Einheit=einheit?(<Kanal>, 1)             ;Y-Einheit abfragen


     RF_Name = "RF_" + Kanal      ;RF-Kanalnamen erstellen

     sequenz RF_Neu
     ;Erste Rainflow-Zählung und Speicherung der Werte in erster Mat-
     rix -> RF-Matrix-Name: RF_ + <Kanal>
     ;*****

     vargetinit_Para = Kanal + "_*"
     ; Erstellung des Parameters (Kanalname 1. Messung + "_*" für ei-
     ne Indizierung der zusätzlichen Messungen pro Kanal

     Anzahl_der_zusätzlichen_Mess_für_RF_Bere = varge-
     tinit2(vargetinit_Para, 2) ;Kanalliste erstellen


     wenn Anzahl_der_zusätzlichen_Mess_für_RF_Bere > 0
     ; Abfrage ob mehr als eine Messung pro Kanal eingeladen wurde
          solange r<= Anzahl_der_zusätzlichen_Mess_für_RF_Bere
          ; Schleife die abgearbeitet wird, um weitere Messungen pro
          Kanal in eine RF-Matrix einzulesen

               kanal_feed = vargetname?(r)
               ;aktuellen Kanalnamen einlesen

               sequenz RF_Feed
               ;Sequenzaufruf für anschließend eingespeiste Mess-
               werte (Wenn Messung nicht am selben Tag)

               wenn r = Anzahl_der_zusätzlichen_Mess_für_RF_Bere
               ; Sobald die Anzahl der abgearbeiteten Dateien (an
               weiteren Messungen pro Kanal) abgearbeitet sind,
               wird die RF-Matrix zurückgegeben


          sequenz BPZ                 ; Sequenzaufruf

          sequenz RF_Get              ; Sequenzaufruf Hochrechnung

          ende                        ;Schleifenaustritt

          r=r+1                       ;Zählvariable inkrementieren
          ende                        ;Schleifenaustritt
          r=1
```

```
          ;Hilfsvariable wieder auf Ausgangswert setzen

      sonst ;Bedingung wenn "wenn" nicht wahr ist

            sequenz BPZ             ;sequenzaufruf
            sequenz RF_Get          ;sequenzaufruf

ende  ;Schleifenaustritt


i=i+1 ;Zählervariable inkrementieren
ende ;Schleifenaustritt
ende ;Schleifenaustritt

;*******************************************************************

;RF - Init für Radienklassen

;*******************************************************************


wenn Radienklassen=1 and Anzahl_DMS > 0
;Abfrage ob Parameter in Startsequenz gesetzt sind

      Anzahl= vargetinit2(Namensmuster_Radienklassen, 2)
      ;Kanalliste erstellen

      solange i<=Anzahl
      ;Schleifeneinleitung für Abarbeitung aller Kanäle

            Kanal=vargetname?(i) ;aktuellen Kanalnamen einlesen

            Einheit=einheit?(<Kanal>, 1) ;Enheitenabfrage

            RF_Name = "RF_" + Kanal ;RF-Kanalnamen erstellen

            sequenz RF_Neu   ;Erste Rainflow-Zählung und Speicherung
            der Werte in Erste Matrix -> RF-Matrix-Name: RF_ + <Kanal>

            sequenz BPZ             ;Sequenzaufruf
            sequenz RF_Get          ;Sequenzaufruf

            i=i+1 ;Zählervariable inkrementieren

      ende  ;Schleifenaustritt

ende  ;Schleifenaustritt



K_Option=2                      ;wird nicht mehr gebraucht
Klassen=(_max - _min)/Schritt   ;Maximal 1000 Klassen
_Hysteresis = Schritt

_NumberClasses = Klassen
_TypeOfUnit = 1 ; 0 Classes, 1 physical unit
_UnitRow = "Mean,    " + Einheit + " [" + Kanal + "]" ; Einheit Zeile
_UnitColumn = "Amplitude, " + Einheit + " [" + Kanal + "]"
;Einheit Spalte
```

```
_UnitCount = "Count"
_UnitRes = "Einheit + " [" + Kanal + "]
Klassenbreite = (_max - _min) / _NumberClasses

;*****

Maximum = Max (<Kanal>)
Minimum = Min (<Kanal>)

WENN Maximum > _Max
   BoxNachricht("Überschreitung","Klassierungsmaximum überschrit-
ten!","!2")
ENDE
WENN Minimum < _Min
   BoxNachricht("Unterschreitung","Klassierungsminimum unterschrit-
ten!","!2")
ENDE
ENTF Maximum
ENTF Minimum

;*****

<RF_Name> = ClsOffRainflowInit1(_NumberClasses, _TypeOfUnit,
             _UnitRow,_UnitColumn, _UnitCount, _UnitRes, 0)
            ClsOffRainflowInit2(<RF_Name>, _Min, _Max, _Hysteresis,
            _Axis, _Type, _Border, _CalcOptions)
            ClsOffRainflowInit3(<RF_Name>, _IgnoreSmallSpans,
            _Precise, _CountStartEnd,0,0,0)
            ClsOffRainflowFeedSamples(<RF_Name>,<Kanal>)
            ClsOffRainflowAddResidue (<RF_Name>,_Residuum)

;*****

;RF_Feed

;*****

;Eingang:   <Kanal_feed>
;                      i

;Ausgang:   RF_Kanal

;*****

ClsOffRainflowFeedDiscontinuity(<RF_Name>)

ClsOffRainflowFeedSamples(<RF_Name>,<Kanal_feed>)

ClsOffRainflowAddResidue (<RF_Name>,_Residuum)

;*****

;BPZ

wenn Extrapolation = 1
;Abfrage, ob Extrapolation in Startsequenz gesetzt

            wenn Gesamtstrecke_manuell > 0 ;Abfrage
            ;ob Parameter in Stratsequenz gesetzt
```

```
            Gesamtstrecke = Gesamtstrecke_manuell
            ;Variablenerstellung

            ende ;Bedingung Ende

      Extrapol_faktor = (Lebensdauer * Kilometer_pro_Jahr)
                        /Gesamtstrecke
      ;Berechnung des Extrapolationsfaktor (Hochrechnung)

sonst ; wenn "WENN" nicht wahr  V

      Extrapol_faktor = 1
      ;Erstellung des Extrapolationsfaktors
      entf Lebensdauer            ;entferne Variable
      entf Kilometer_pro_Jahr     ;entferne Variable

ende

;*****

      BPZ_Y = Rampe (( _Max - _Min ) / (_NumberClasses*2) ,( _Max -
      _Min ) / (_NumberClasses*2),_NumberClasses-1)
      ;Bereichspartzählung Y-Anteil
      ;Klassenbreite/2 halbe Klassenbreite 1 Klasse geht bei Extrahie-
      rung verloren

      SetEinheit(BPZ_Y, Einheit,1) ;Einheit setzen

      TxNameBPZ = RF_Name + "_BPZ";Variablenname erstellen

      <TxNameBPZ> =    ClsOffFromRainflowGetRangePair(<RF_Name>) *
      Extrapol_faktor
      ;Bereichspaarzählung * Extrapolationsfaktor

      <TxNameBPZ>= GrenIndex(<TxNameBPZ>,2 ,_NumberClasses)
      ;ersten Wert löschen

      <TxNameBPZ> = XYvon (<TxNameBPZ>,BPZ_Y)
      ;XY-Dartensatz bilden



entf Max_Name ;entferne Variable
entf Min_Name ;entferne Variable
entf BPZ_Y    ;entferne Variable



wenn Extrapolation = 1
;Abfrage ob Extrapolation in Startsequenz eingeschaltet ist

      wenn Gesamtstrecke_manuell > 0    ;Bedingung einleiten

            Gesamtstrecke = Gesamtstrecke_manuell
            ;Hilfsvariable erstellen

      ende ;Bedingung beenden
```

```
      Extrapol_faktor = (Lebensdauer * Kilometer_pro_Jahr)
      /Gesamtstrecke
      ;Berechnung des Extrapolationsfaktors

sonst ;Bedingung wenn "wenn" nicht erfüllt ist

      Extrapol_faktor = 1
      ;Kanal Extrapolationsfaktor "1" Zuweisen
      entf Lebensdauer            ;entf Kanal Lebensdauer
      entf Kilometer_pro_Jahr     ;entf Kanal Kilometer_pro_Jahr

ende ;Bedingung beenden

;*****
wenn _Type = 1          ;Bedingung, wenn Variable = "1"

      Verfahren = _Min ;Hilfsvariable erstellen

sonst                   ;Bedingung wenn "wenn" nicht erfüllt ist

      Verfahren = 1     ;Kanal Verfahren "1" zuweisen

ende                    ;Bedingungszweig beenden

<RF_Name> = ClsOffRainflowGetMatrix(<RF_Name>) * Extrapol_faktor
;aktuelle Matrix abholen und mit Extrapolationsfaktor multiplizieren

<RF_Name> = Xoff(<RF_Name>,_Min + Schritt/2)  ;Klassenmitte berechnen
setzoff (<RF_Name>,_Min/Verfahren + Schritt/2);Klassenmitte berechnen

wenn DMS_TP_Filter_Freq > 0 and Anzahl_DMS > 0
;Parameterabfrage aus der Startsequenz

      Ueber= "TP-Filter = " + tform (DMS_TP_Filter_Freq, "a.10") +
             "Hz, " + "Max=" + tform (_Max, "a.10") + Einheit + ",
             Min= " + tform (_Min, "a.10") + Einheit
      SetKomm(<RF_Name>,Ueber)

ende

wenn s_TP_Filter_Freq > 0 and Radienklassen =1
;Parameterabfrage aus der Startsequenz

      Ueber= "TP-Filter = " + tform (s_TP_Filter_Freq, "a.10") + "Hz,
             " + "Max=" + tform (_Max, "a.10") + Einheit + ", Min= " +
             tform (_Min, "a.10") + Einheit
      SetKomm(<RF_Name>,Ueber)

ende  ;Bedingung Beenden


;*********************************************************************

;HP-Filterung

;*********************************************************************
```

```
wenn DMS_HP_Filter_Freq > 0 and Anzahl_DMS > 0
;Abfrage ob Parameter in Startsequenz gesetzt

      <Kanal>=filthp(<Kanal>, DMS_HP_Filter_Charakteristik, 0,
            DMS_HP_Filter_Ordnung, DMS_HP_Filter_Freq)
      ; DMS- Kanal HP Filtern

ende ;Bedingung Beenden

;*******
;*****

;**********************************************************************

; Bandpassfilter

;**********************************************************************

wenn DMS_BP_Filter_Freq_unten and Anzahl_DMS > 0
;Abfrage, ob Filterparameter in der Startsequenz eingegeben wurden.

     <Kanal>=filtbp(<Kanal>, BP_Filter_Charakteristik, 0,
            BP_Filter_Ordnung, BP_Filter_Freq_unten,
            BP_Filter_Freq_oben) ;Kanal Filtern

ende ;Bedingung Ende

;*******

;**********************************************************************

      ;TP-Filterung

;**********************************************************************

wenn DMS_TP_Filter_Freq > 0 and Anzahl_DMS > 0
;Abfrage ob Parameter in Startsequenz gesetzt

     <Kanal>=filttp(<Kanal>, DMS_TP_Filter_Charakteristik, 0,
            DMS_TP_Filter_Ordnung, DMS_TP_Filter_Freq)

ende ;Bedingung Beenden


wenn s_TP_Filter_Freq > 0 and Radienklassen=1 and w=0
;Abfrage ob Parameter in Startsequenz gesetzt (Variable w ist zur
Vermeidung von Doppeldurchlauf des TP-Filters)

      s_Dämpfer_gebunden=filttp(spieg (s_Dämpfer_gebunden),
      s_TP_Filter_Charakteristik, 0, s_TP_Filter_Ordnung,
      s_TP_Filter_Freq) ;s- Kanal TP Filtern

      s_Dämpfer_gebunden=filttp(spieg (s_Dämpfer_gebunden),
      s_TP_Filter_Charakteristik, 0, s_TP_Filter_Ordnung,
      s_TP_Filter_Freq) ;s- Kanal TP Filtern

      w=w+1
      ;zurück und vor gespiegelt unm den Zeitversatz zu entfernen
```

```
ende  ;Bedingung Beenden

;*********************************************************************

;*** Abtastfrequenz ermitteln ***

;*********************************************************************


wenn Radienklassen= 1
;Abfrage, ob Radienklassen in der Startsequenz aktiviert wurde

      Erster_Kanal = vargetinit2("DMS_gebunden", 2) ; Kanaliste laden

ende ;Bedingung Ende

wenn Radienklassen= 0
;Abfrage, ob Radienklassen in der Startsequenz nicht aktiviert wurde

      Erster_Kanal = vargetinit2(Kanalname_DMS, 2)  ;Kanaliste laden

ende ;Bedingung Ende

Erster_Kanal=vargetname?(1)
;Abfrage eines Eintrags aus der Variablenliste

Erster_Kanal_Einheit=einheit?(<Erster_Kanal>, 1) ;Einheit ermitteln

freq_erster_Kanal = 1/(xdel?(<Erster_Kanal>))
;Abtastfrequenz berechnen


wenn Erster_Kanal_Einheit = "Nm" ;Einheitenabfrage

      Abtastfrequenz_DMS = tform(freq_erster_Kanal, "a.10") + " Hz"
      ;Zahlenwertdarstellungsform und Einheit erstellen

ende ;Bedingung Ende


wenn Erster_Kanal_Einheit = "µm/m" ;Einheitenabfrage

      Abtastfrequenz_DMS = tform(freq_erster_Kanal, "a.10") + " Hz"
      ;Zahlenwertdarstellungsform und Einheit erstellen

ende ;Bedingung Ende

wenn Erster_Kanal_Einheit = "MPa" ;Einheitenabfrage

      Abtastfrequenz_DMS = tform(freq_erster_Kanal, "a.10") + " Hz"
      ;Zahlenwertdarstellungsform und Einheit erstellen

ende ;Bedingung Ende

wenn Erster_Kanal_Einheit = "m/s²" ;Einheitenabfrage

      Abtastfrequenz_Beschl = tform(freq_erster_Kanal, "a.10") + " Hz"
      ;Zahlenwertdarstellungsform und Einheit erstellen
```

```
ende ;Bedingung Ende

;*****

;*********************************************************************

;*** Automatische Offsetentfernung ***

;*********************************************************************

wenn Auto_Offset_entfernung= 1
;Abfrage ob Auto Offset entfernung in der Startsequenz aktiviert wur-
de

i=1                 ;Zählervariable erstellen
o=lang?(aq)         ;Datensatzlänge ermitteln

solange i<o         ;Schleife einleiten, um gesammten Datensatz abzuar-
                    beiten

x= Wert (<Kanalname_aq>,i)        ;Wertabfrage
z= Wert (<Namensmuster_vkmh>,i)   ;Wertabfrage

      wenn (x > -0.0001 or x < 0.0001) and (z > 50)
      ;Heraussuchen, wo aq annähernd 0 und vkmh 50 beträgt.

            s_Dämpfer_gebunden = s_Dämpfer_gebunden -
            Wert(s_Dämpfer_gebunden,i)  ;entferne Offset vom Wegkanal

            i=o ;vorbereitung zum Schleifenaustritt

      ende  ;Bedingung Ende

i=i+1 ;Zähler inkrementieren

ende  ;Schleifenende

ende  ;Bedingung Ende




;*********************************************************************

 ;Einheiten und Empfindlichkeit Vergabe

;*********************************************************************


wenn Kanal_Empfindlichkeit > 0 and Einheit_Vergabe = "Nm"
;Abfrage nach Parametern aus Startsequenz

      <Kanal> = <Kanal> * Kanal_Empfindlichkeit
      ;Kanal empfindlichkeit berechnen

      seteinheit(<Kanal>,Einheit_Vergabe,1) ;Einheit vergeben
```

```
ende  ;Bedingung Beenden


wenn Kanal_Empfindlichkeit > 0 and Einheit_Vergabe = "µm/m"
;Abfrage nach Parametern aus Startsequenz

            <Kanal> = <Kanal> * Kanal_Empfindlichkeit
            ;Kanal empfindlichkeit berechnen

            seteinheit(<Kanal>,Einheit_Vergabe,1)
            ;Einheit vergeben

ende ;Bedingung Beenden

wenn Kanal_Empfindlichkeit > 0 and Einheit_Vergabe = "MPa"
;Abfrage nach Parametern aus Startsequenz

            <Kanal> = <Kanal> * Kanal_Empfindlichkeit
            ;Kanal empfindlichkeit berechnen

            seteinheit(<Kanal>,Einheit_Vergabe,1)
            ;Einheit vergeben

ende ;Bedingung Beenden

wenn Kanal_Empfindlichkeit > 0 and Einheit_Vergabe = "m/s²"
;Abfrage nach Parametern aus Startsequenz

            <Kanal> = <Kanal> * Kanal_Empfindlichkeit
            ;Kanal empfindlichkeit berechnen

            seteinheit(<Kanal>,Einheit_Vergabe,1)
            ;Einheit vergeben

ende ;Bedingung Beenden

;Spritzer_entf





;*****

;Eingang:  <Kanal>

;Wert_median

;Ausgang:  <Kanal>

;*****
wenn DMS_Spritzer_entfernen = 1

<Kanal> = median(<Kanal>, DMS_Wert_median)
;Mit dem Medianfilter (Nicht-linearer Filter) werden kurze "Spritzer"
im Signal entfernt
```

```
Ende

;*******
;*********************************************************************

;Hier werden alle Hilfsvariablen entfernt, nach Abbruch, wenn offste
nicht korrekt entfernt wurde

;*********************************************************************

entf Box
entf Radienklasse_4_min
entf Auto_Offset_Entfernung
entf Box
entf Gesamtstrecke
entf Kilometer_pro_Jahr
entf Lebensdauer
entf MTD_D34_02
entf Radienklasse_2_max
entf Radienklasse_2_min
entf Radienklasse_3_max
entf Radienklasse_3_min
entf Radienklasse_4_max
entf s_Dämpfer_gebunden
entf vkmh
entf z
entf Schritt_Kraft
entf Namensmuster_Radienklassen
entf Abtastfrequenz_DMS
entf vkmhMaske_1
entf vkmhMaske_2
entf vkmhMaske_3
entf vkmhMaske_Bögen
entf vkmhMaske_Geraden
entf Strecke_neu
entf Anzahl_s_Dämpfer
entf _aq_gren
entf _Border
entf _CalcOptions
entf _CountStartEnd
entf _Hysteresis
entf _IgnoreSmallSpans
entf _Max_Kraft
entf _Max_Weg
entf _Min_Kraft
entf _Min_Weg
entf _Precise
entf _Residuum
entf Anzahl_Beschl
entf Anzahl_DMS
entf Anzahl_Kraft
entf Anzahl_Weg
entf check
entf Drehzapfenabstand
entf Einheit_Vergabe
entf extrapol_faktor
entf Extrapolation
entf i
```

```
entf Kanaele aussortieren
entf Kanal
entf Kanal_Empfindlichkeit
entf Kanalname_Dämpfer
entf Kraft_Kanalname
entf Namensmuster_vkmh
entf Namensmuster_vkmh_ohne_aq
entf Offset_aq_manuell
entf Offset_Dämpfer_manuell
entf Offset_DMS_manuell
entf Offset_Vkmh_manuell
entf Offsetkorrektur_DMS_Auto
entf Grenzfrequenz
entf E_Modul_klein
entf vkmh_aus_f*
entf eModul
entf aq_Offset
entf Erster_Kanal
entf freq_erster_Kanal
entf Anzahl_speziel
entf check_DMS
entf _UnitColumn
entf _UnitCount
entf _UnitRes
entf _UnitRow
entf Einheit
entf K_Option
entf _NumberClasses
entf Klassen
entf Klassenbreite
entf Namensmuster
entf RF_Name
entf Schritt
entf vargetinit_Para
entf Ueber
entf kanal_feed
entf _Min_DMS
entf _Max_DMS
entf Schritt_DMS
entf _Min_Beschl
entf _Max_Beschl
entf Schritt_Beschl
entf _Axis
entf _Type
entf Anzahl_Kanal
entf _TypeOfUnit
entf TxNameBPZ
entf Kanalentferner
entf Filterfrequenz
entf Kanalname_DMS
entf Kanalname_Beschl
entf Kanalname_Beschl
entf Kanalname_Weg
entf _aq_Offset
entf _vkmh
entf Radienklasse_1
entf Radienklasse_2
entf Radienklasse_3
entf Radienklasse_4
```

```
entf Radienklasse_1_bis_4
entf s_Spritzer_entfernen
entf s_Wert_median
entf s_HP_Filter_Freq
entf s_HP_Filter_Charakteristik
entf s_HP_Filter_Ordnung
entf s_TP_Filter_Freq
entf s_TP_Filter_Charakteristik
entf s_TP_Filter_Ordnung
entf s_BP_Filter_Freq_unten
entf s_BP_Filter_Freq_oben
entf s_BP_Filter_Charakteristik
entf s_BP_Filter_Ordnung
entf DMS_Spritzer_entfernen
entf DMS_Wert_median
entf DMS_HP_Filter_Freq
entf DMS_HP_Filter_Charakteristik
entf DMS_HP_Filter_Ordnung
entf DMS_TP_Filter_Freq
entf DMS_TP_Filter_Charakteristik
entf DMS_TP_Filter_Ordnung
entf DMS_BP_Filter_Freq_unten
entf DMS_BP_Filter_Freq_oben
entf DMS_BP_Filter_Charakteristik
entf DMS_BP_Filter_Ordnung
entf a_Spritzer_entfernen
entf a_Wert_median
entf a_HP_Filter_Freq
entf a_HP_Filter_Charakteristik
entf a_HP_Filter_Ordnung
entf a_TP_Filter_Freq
entf a_TP_Filter_Charakteristik
entf a_TP_Filter_Ordnung
entf a_BP_Filter_Freq_unten
entf a_BP_Filter_Freq_oben
entf a_BP_Filter_Charakteristik
entf a_BP_Filter_Ordnung
entf D_Spritzer_entfernen
entf D_Wert_median
entf D_HP_Filter_Freq
entf D_HP_Filter_Charakteristik
entf D_HP_Filter_Ordnung
entf D_TP_Filter_Freq
entf D_TP_Filter_Charakteristik
entf D_TP_Filter_Ordnung
entf D_BP_Filter_Freq_unten
entf D_BP_Filter_Freq_oben
entf D_BP_Filter_Charakteristik
entf D_BP_Filter_Ordnung
entf F_Spritzer_entfernen
entf F_Wert_median
entf F_HP_Filter_Freq
entf F_HP_Filter_Charakteristik
entf F_HP_Filter_Ordnung
entf F_TP_Filter_Freq
entf F_TP_Filter_Charakteristik
entf F_TP_Filter_Ordnung
entf F_BP_Filter_Freq_unten
entf F_BP_Filter_Freq_oben
```

```
entf F_BP_Filter_Charakteristik
entf F_BP_Filter_Ordnung
entf Kanal
entf vkmh_Maske
entf vkmh_Maske_Bögen
entf vkmh_Maske_Geraden
entf Strecke_help
entf Help
entf Variable
entf v
entf x
entf r
entf Temp_Komp
entf Schritt_Weg
entf Zwischenwagendämpfer
entf Offset_aq
entf Kanaele_aussortieren
entf Gesamtstrecke_manuell
entf Anzahl
entf Anzahl_vkmh
entf Anzahl_vkmh_1
entf Ueber
entf Verfahren
entf _Max
entf _Min
entf Anzahl_der_zusätzlichen_Mess_für_RF_Bere
entf Maske_Rad_Kl_1_wegAbh_Mitte
entf Maske_Rad_Kl_2_wegAbh_Mitte
entf Maske_Rad_Kl_3_wegAbh_Mitte
entf Maske_Rad_Kl_4_wegAbh_Mitte
entf w
entf Radienklassen_abhängig_von_der_Zeit
entf Radienklassen_abhängig_vom_Weg
entf Radienklassen
entf o
entf null
entf Maske_Rad_Kl_4
entf Maske_Rad_Kl_3
entf Maske_Rad_Kl_2
entf Maske_Rad_Kl_1
entf Maske_Mittel
entf Krümmung_tp1_diff_S_trigger
entf Krümmung_null
entf Krümmung_diff
entf Krümmung
entf Kanalname_aq
entf Endzeit
entf Ausschnittauf1
entf Ausschnitt
entf aq
entf Radius
```

Anlagen, Teil 3

In diesem Verzeichnis der Anlagen befindet sich die Messtechnische Ausrüstung

Technische Daten: IMC Cronos PL

- **32 analog inputs** single-ended or differential coupling (16 ch)
  Ranges _100mV , _500mV , _2 V , _10 V
- **3 ICP inputs** with low-pass filter for current-fed accelerometers, AC-coupled ranges_5 V , 500mV
- **16 bit digitizer** 16 bit resolution
- **32 digital I/O, TTL levels** 4 dual channel incremental encoders
- **8 analog outputs**, 12 bits, +10 V 200kHz Aggregate Sampling
- **Dual Time Base** Max 200kHz per channel
- **Integrated DSP** Averaging, RMS, Min/Max storage
  Automatic time-offset correction (soft sample and hold)
  Characteristic correction Extensive trigger functions (48 level, logical & programmed conditions) Optional real-time analysis tools
- **Environmental** 100 - 230 VAC; DC supply (9-36 VDC with backup battery, optional Operating 0-40_C, 5-95% humidity,
  extended range available
  Input resistance to >30g peak over 3ms Secure screw terminal connections standard
- **Standard signal conditioning** Voltages up to _10 V Temperature: All DIN thermocouples and PT100 incl. supply, linearization, reference points
  3 current-fed accelerometers
  4 incremental encoders (TTL) with up to 3 tracks
- **Optional Signal Conditioning** DC Bridge inputs - voltage or current excitation, sense lines, software balancing
  AC carrier frequency amplifier - LVDT, AC bridge
  Voltage isolation
  Voltage / Current amplifier; thermocouple amplifier
  High voltage / current inputs
  Charge amplifier

Programable analog filters

Digital conditioning and isolation

- **External Connections** Online configuration & live visualization on your PC over Ethernet / NetBui (TCP/IP optional)

  Hand held LCD display and keypad

Technische Daten: IMC Cansas

- **Integrierter Signalprozessor** zur Online - Datenverdichtung, Filterung, Statistik und – Erzeugung virtueller Kanäle.
- **Konfigurierbar** mittels optionaler Konfigurationssoftware.
- **Zeitsynchrone Abtastung** aller Messkanäle.
- **Automatischer Selbststart** nach Anlegen der Versorgungsspannung.
- **16 Bit Auflösung.**
- **Anzahl virtueller Kanäle <100**. Abhängig vom Modultyp wird eine bestimmte Anzahl von virtuellenKanälen zur internen Berechnung benötigt. Diese Kanäle reduzieren die Anzahl der verfügbaren virtuellen Kanäle.
- **Betriebstemperatur** -30°C bis 85°C, Relative Feuchte 95% Betauung zulässig (wenn nicht andersangegeben).
- **Schockfestigkeit** 50g pk über 5 ms (ohne Anschlussstecker).
- Isolation gegen Versorgung und CAN-Bus: ± 50 V (wenn nicht anders angegeben).
- **Stromversorgung** 10 V bis 50 V DC ausgenommen von BRIDGE2, CANSER, C12 und ISO8: 9 V bis 32 V
- **DC. Module,** die vor April 2011 gebaut wurden: 9 V bis 32 V, siehe Typenschild.
- **Leistungsaufnahme** 4 W (wenn nicht anders angegeben)

Wenn nicht anders angegeben, gelten für die technischen Daten folgende Umgebungsbedingungen:

- **Temperatur** 23 °C
- **Luftdruck** 1013 mbar
- **Relative Feuchte** 40 %

Technische Daten: IMC BusDaq

Anschlüsse

- PC-Anschluss über Ethernet TCP/IP 10/100 MBit
- CAN-Bus Anschluss über DSUB-Stecker 9-pol. am Gerät (1 Stecker je Knoten) (Auslegung nach Cia Draft Standard 102 Version 2.0, CAN Physical Layer for Industrial Applications)
- Modem Anschluss über DSUB Stecker 9-pol. (nicht busLOG)
- Display Anschluss über DSUB Stecker 9-pol. (nicht busLOG)
- GPS Anschluss über DSUB Stecker 9-pol. (nicht busLOG)
- Anschluss für die Synchronisation mehrerer Geräte
  Es lassen sich mehrere imc Geräte, parallel und voll synchronisiert in einem Ethernet TCP/IP Netzwerk, betreiben.
- Control Buchse, zum ferngesteuerten Ein/Ausschalten und Beschaltung der Suspend/Resume Funktion

Stromversorgung

- 50 V DC Versorgung mit Batteriepufferung (USV) oder
  110 V / 230 V über mitgelieferten Netzadapter oder
  optional über CAN-Anschluss (von Knoten 1 oder 2)

Betriebsbedingungen

- Betriebstemperatur: -40 °C bis 85 °C
- Lagertemperatur: -40 °C bis 85 °C
- Relative Luftfeuchtigkeit bis 95 %, Betauung zulässig
- Betriebshöhe bis 2000 m

Schock- und Vibrationsprüfungen

1. gemäß DIN EN 50115 / EN 61373 Kategorie 1B

- Vibration (Breitbandrauschen) 5 Hz bis 150 Hz bei 7,9 m/s² (Lebensdauerprüfung); 1 m/s² (Funktionsprüfung)
- Schock: 30 ms Halbsinus bei 50 m/s²

2. gemäß MIL-STD-810F

- Vibration (Breitbandrauschen) 5 Hz bis 350 Hz bei 0,48 g (Rail Cargo Vibration Exposure)

- 5 Hz bis 500Hz bis 2,33 g
- Schock: 11 ms Halbsinus bei 20 g

3. Schwing- und Schockprüfung gemäß Prüfbelastung Gleitsinus (DIN EN 50115)

- 10 Hz bis 55 Hz mit s = 0.15 mm, ab 35 Hz mit s= 0.8 g
- Frequenzdurchlaufgeschwindigkeit 1 Okt./min.
- Prüfbelastungsdauer 30 min.

Anlagen, Teil 4

In den Anlagen Teil 4 Befinden sich die RF – Matrizen von Tag1 und Tag 2 der Messungen

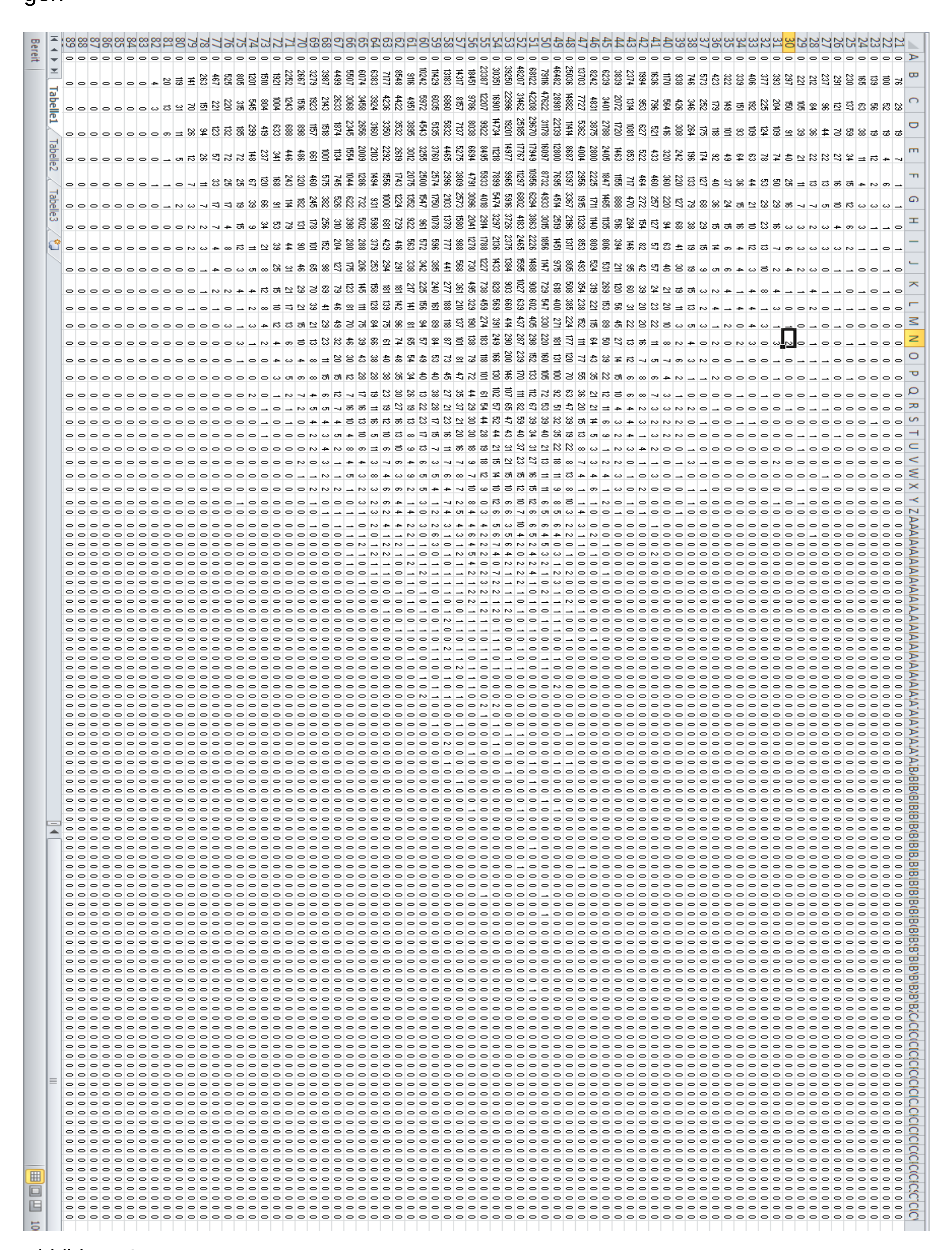
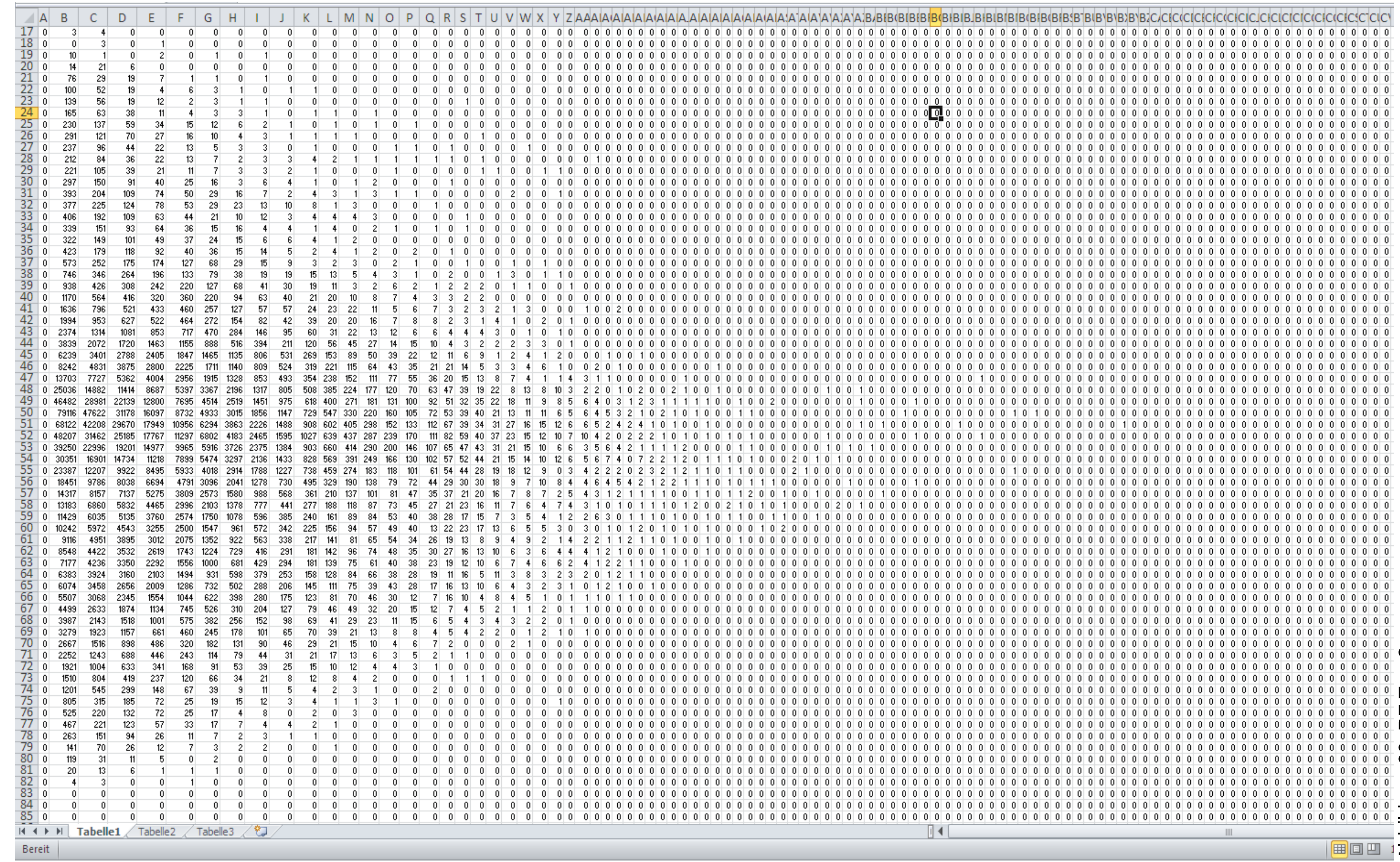


Abbildung 65: RF - Tag 1



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
17	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	10	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	14	21	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	76	29	19	7	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	100	52	19	4	6	3	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	139	56	19	12	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
24	0	165	63	38	11	4	3	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	230	137	59	34	15	12	6	2	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	291	121	70	27	16	10	4	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	0	237	96	44	22	13	5	3	3	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
28	0	212	84	36	22	13	7	2	3	3	4	2	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
29	0	221	105	39	21	11	7	3	3	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
30	0	297	150	91	40	25	16	3	6	4	1	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	393	204	109	74	50	29	16	7	2	4	3	1	3	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0
32	0	377	225	124	78	53	29	23	13	10	8	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	406	192	109	63	44	21	10	12	3	4	4	4	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
34	0	339	151	93	64	36	15	16	4	4	1	4	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
35	0	322	149	101	49	37	24	15	6	6	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	423	179	118	92	40	36	15	14	5	2	4	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	573	252	175	174	127	68	29	15	9	3	2	3	0	2	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
38	0	746	346	264	196	133	79	38	19	19	15	13	5	4	3	1	0	2	0	0	1	3	0	1	1	0
39	0	938	426	308	242	220	127	68	41	30	19	11	3	2	6	2	1	2	2	2	0	1	1	0	0	1
40	0	1170	564	416	320	360	220	94	63	40	21	20	10	8	7	4	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0
41	0	1636	796	521	433	460	257	127	57	57	24	23	22	11	5	6	7	3	2	3	2	1	3	0	0	0
42	0	1994	953	627	522	464	272	154	82	42	39	20	20	16	7	8	8	2	3	1	4	1	0	2	0	1
43	0	2374	1314	1081	853	717	470	284	146	95	60	31	22	13	12	6	6	4	4	4	3	0	1	0	1	0
44	0	3839	2072	1720	1463	1155	888	516	394	211	120	56	45	27	14	15	10	4	3	2	2	2	3	3	0	1
45	0	6239	3401	2788	2405	1847	1465	1135	806	531	269	153	89	50	39	22	12	11	6	9	1	2	4	1	2	0
46	0	8242	4831	3875	2800	2225	1711	1140	809	524	319	221	115	64	43	35	21	21	14	5	3	3	4	6	1	0
47	0	13703	7727	5362	4004	2956	1915	1328	853	493	354	238	152	111	77	55	36	20	15	13	8	7	4	1	1	4
48	0	25036	14882	11414	8687	5397	3367	2196	1317	805	508	385	224	177	120	70	63	47	39	19	22	8	13	8	10	3
49	0	46482	28981	22139	12800	7695	4514	2519	1451	975	618	400	271	181	131	100	92	51	32	35	22	18	11	9	8	5
50	0	79116	47622	31178	16097	8732	4933	3015	1856	1147	729	547	330	220	160	105	72	53	39	40	21	13	11	11	6	5
51	0	68122	42208	29670	17949	10956	6294	3863	2226	1488	908	602	405	298	152	133	112	67	39	34	31	27	16	15	12	6
52	0	48207	31462	25185	17767	11297	6802	4183	2465	1595	1027	639	437	287	239	170	111	82	59	40	37	23	15	12	10	7
53	0	39250	22996	19201	14977	9965	5916	3726	2375	1384	903	660	414	290	200	146	107	65	47	43	31	21	15	10	6	6
54	0	30351	16901	14734	11218	7899	5474	3297	2136	1433	828	569	391	249	166	130	102	57	52	44	21	15	14	10	12	6
55	0	23387	12207	9922	8495	5933	4018	2914	1788	1227	738	459	274	183	118	101	61	54	44	28	19	18	12	9	0	3
56	0	18451	9786	8038	6694	4791	3096	2041	1278	730	495	329	190	138	79	72	44	29	30	30	18	9	7	10	8	4
57	0	14317	8157	7137	5275	3809	2573	1580	988	568	361	210	137	101	81	47	35	37	21	20	16	7	8	7	2	5
58	0	13183	6860	5832	4465	2996	2103	1378	777	441	277	188	118	87	73	45	27	21	23	16	11	7	6	4	7	4
59	0	11429	6035	5135	3760	2574	1750	1078	596	385	240	161	89	84	53	40	38	28	17	15	7	3	5	4	1	2
60	0	10242	5972	4543	3255	2500	1547	961	572	342	225	156	94	57	49	40	13	22	23	17	13	6	5	5	3	0
61	0	9116	4951	3895	3012	2075	1352	922	563	338	217	141	81	65	54	34	26	19	13	8	9	4	9	2	1	4
62	0	8548	4422	3532	2619	1743	1224	729	416	291	181	142	96	74	48	35	30	27	16	13	10	6	3	6	4	4
63	0	7177	4236	3350	2292	1556	1000	681	429	294	181	139	75	61	40	38	23	19	12	10	6	7	4	6	6	2
64	0	6383	3924	3160	2103	1494	931	598	379	253	158	128	84	66	38	28	19	11	16	5	11	3	8	3	2	3
65	0	6074	3458	2656	2009	1286	732	502	288	206	145	111	75	39	43	28	17	16	13	10	6	4	3	2	3	1
66	0	5507	3068	2345	1554	1044	622	398	280	175	123	81	70	46	30	12	7	16	10	4	8	4	5	1	0	1
67	0	4499	2633	1874	1134	745	526	310	204	127	79	46	49	32	20	15	12	7	4	5	2	1	1	2	0	1
68	0	3987	2143	1518	1001	575	382	256	152	98	69	41	29	23	11	15	6	5	4	3	4	3	2	2	0	1
69	0	3279	1923	1157	661	460	245	178	101	65	70	39	21	13	8	8	4	5	4	2	2	0	1	2	1	0
70	0	2667	1516	898	486	320	182	131	90	46	29	21	15	10	4	6	7	2	0	0	0	2	1	0	0	0
71	0	2252	1243	688	446	243	114	79	44	31	21	17	13	6	3	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0
72	0	1921	1004	633	341	168	91	53	39	25	15	10	12	4	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	1510	804	419	237	120	66	34	21	8	12	8	4	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
74	0	1201	545	299	148	67	39	9	11	5	4	2	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	805	315	185	72	25	19	15	12	3	4	1	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
76	0	525	220	132	72	25	17	4	8	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	467	221	123	57	33	17	7	4	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	263	151	94	26	11	7	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	141	70	26	12	7	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	119	31	11	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	20	13	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle1 Tabelle2 Tabelle3

Bereit

Abbildung 66: RF Tag 2

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Salzgitter, den 30.04.2012

Christian Böhnke